



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta umění a architektury



Parametrický modulární design

Bakalářská práce

Studijní program: B8208 – Design

Studijní obor: 8206R123 – Design prostředí

Autor práce: **Simona Hnídková**

Vedoucí práce: Ing. Arch. Mag. Arch. Saman Saffarian





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Arts and Architecture



Bachelor thesis

Study programme: B8208 – Design

Study branch: 8206R123 – Environmental Design

Author: **Simona Hnídková**

Supervisor: Ing. Arch. Mag. Arch. Saman Saffarian





Zadání bakalářské práce

Parametrický modulární design

Jméno a příjmení: **Simona Hnídková**
Osobní číslo: A15000004
Studijní program: B8208 Design
Studijní obor: Design prostředí
Zadávací katedra: Katedra Environmental Designu
Akademický rok: **2018/2019**

Zásady pro vypracování:

Tématem bakalářské práce je hledání možností aplikace parametrického modulárního systému v architektuře a designu. Hlavními geometrickými zásadami návrhu budou: Teselace, Agregace a Fragmentace ve 3D.

1. Koncept
2. Vizualizace, fotodokumentace, videodokumentace
3. Průvodní teoretická zpráva ve formátu A3 nebo A4 (minimálně 30 normostran A4) v pevné vazbě, včetně originálu zadání práce a prohlášení o autorském právu. Zpráva obsahuje mezi jinými úvod, přehled literatury a zdrojů, výsledky a diskuzi a řídí se specifikacemi v dokumentu "Požadavky na vypracování bakalářské práce – KED". Zdroje musí být citované dle Harvard systému. Dále sle Směrnice rektora TUL č. 5/2018.
4. Elektronická podoba všech částí bakalářské práce na CD-ROM (akceptovatelné formáty pdf, pdf/A).
5. V systému STAG (Moje studium-Kvalifikační práce-Doplnit údaje o práci) vložit veškerá data o práci a soubor obsahující kompletní výkresovou i textovou dokumentaci, průvodní zprávu, technickou zprávu a doplnit související textová pole.

Rozsah grafických prací:

viz výše

Rozsah pracovní zprávy:

viz výše

Forma zpracování práce:

tištěná/elektronická



Seznam odborné literatury:

Vedoucí práce:

Ing. arch. MgA. Saman Saffarian
Katedra Environmental Designu

Datum zadání práce:

4. února 2019

Předpokládaný termín odevzdání:

10. května 2019

Ing. arch. MgA. Osamu Okamura
děkan



doc. MgA. Jan Stolin
vedoucí katedry

V Liberci 4. února 2019

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

2. 5. 2019

Simona Hnídková

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Arch. Mag. Arch. Samanu Saffarianovi za jeho vedení, motivaci a podporu při práci. Dále bych chtěla poděkovat své rodině za velkou podporu, pochopení a trpělivost po celou dobu studia a také svým přátelům za inspirativní názory a připomínky.

Abstrakt

Tématem bakalářské práce je hledání možností aplikace parametrického modulárního systému v architektuře a designu. Hlavními geometrickými zásadami návrhu budou: Teselace, Agregace a Fragmentace ve 3D.

Abstract

The aim of Bachelor Thesis is to find possibilities of apply of a Parametric Modular System in architecture and design. The main principles of the geometric design are: Tessellation, Aggregation and Fragmentation in 3D.

Klíčová slova

modularita, parametrizace, agregace, teselace, fragmentace, interiér, exteriér, design, polyhedrony, osmistěn

Keywords

modularity, parametrization, aggregation, tessellation, fragmentation, interior, exterior, design, polyhedrons, octahedron

Obsah

1 Úvod	11
2 Geometrie a polyhedrony	14
2.1 Geometrický řád v přírodě	14
2.2 Geometrický řád v umění	15
2.3 Koncept	17
2.3.1 Polyhedrony	17
2.3.2 Octahedron	20
2.3.3 Agregace	20
2.3.4 Teselace	22
2.3.5 Fraktál	23
2.3.6 Locomotion	24
2.3.7 Modularita	26
3 State of the art	29
3.1 Design	29
3.2 Architektura	32
3.3 Umění	35
4 Metodika	40
4.1 Rhinoceros a plug-in Rhinopolyhedra	40
4.2 Grasshopper Wasp 01	42
4.3 Grasshopper Wasp 02	44
4.4 Grasshopper Object Placement	45
4.5 Grasshopper Attractor	47
5 Modularita octahedronu	49
5.1 Octahedron	49
5.2 Rhinoceros	49
5.3 Grasshopper	52
5.3.1 Agregace stejného měřítka	52
5.3.1 Agregace více měřítek	55
6 Koncepční návrhy použití	59
6.1 Design	59
6.1.1 Multifunkční stěna	59
6.1.2 Sedací moduly	60
6.1.3 Předělová stěna	61
6.1.4 Svítidlo	63

6.2 Architektura	64
6.2.1 Betonové cihly	64
6.2.2 Kempovací příbytek.....	65
6.2.3 Věž	66
6.2.4 Kinetická fasáda.....	67
6.3 Umění	68
6.3.1 Pohyblivý obraz	68
6.3.2 Průhled	69
6.3.3 Interiérová socha.....	70
6.3.4 Socha ve veřejném prostoru	71
7 Prototypy	73
7.1 Výběr materiálu.....	73
7.2 Papírové prototypy.....	73
7.3 Plechové prototypy	75
8 Závěr	76
Seznam obrazových příloh	77
Seznam obrazových zdrojů.....	79
Seznam citovaných zdrojů.....	83

1 Úvod

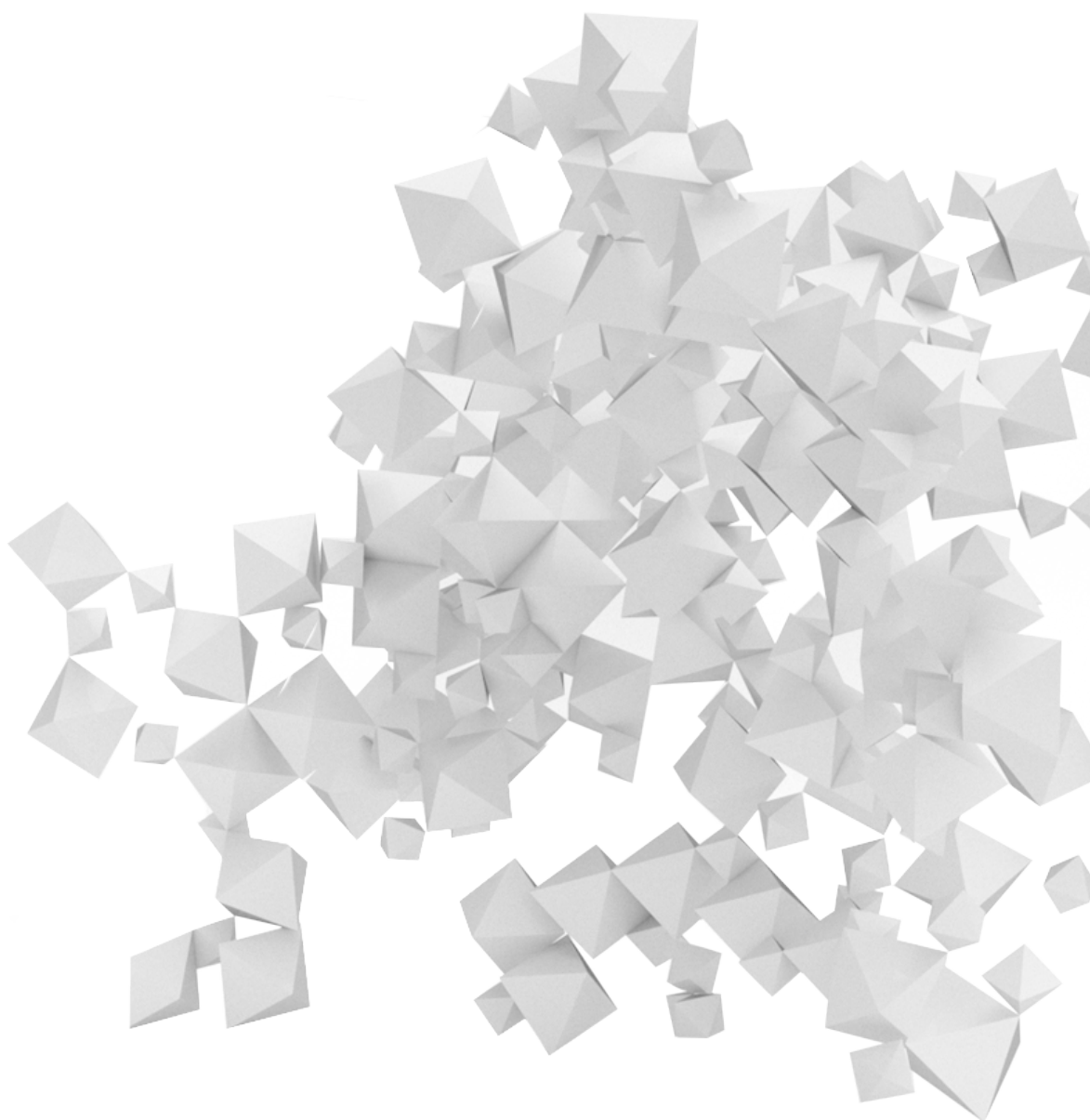
Základní geometrické tvary všichni vnímáme již od malička. Každý z nás má rád ve „svém“ vlastním světě nějakou jistotu a pro mě to vždy byla geometrie s jasně danými pravidly. Určité ukotvení a řád, jež na mne působil z funkcionalistických staveb v mém rodném městě. Postupně jsem začala vyhledávat podobné objekty a zjistila jsem, že naše hlavní město Praha byla ve třicátých letech přímo architektonickou laboratoří funkcionalistických architektů, kteří v bílé architektuře hledali krásu a poetiku. Architektonickým ideálem se pro mne stal na gymnáziu Le Corbusier, jehož osobnost a dílo jsem obdivovala ve Francii a Ludwig M. van der Rohe a stavby s velkými pásovými okny, které se v duchu jeho „Less is more“ dostává redukcí přidaných tvarů a motivů ke kořenům prostorové kompozice.

Uvědomila jsem si, že i jednoduché geometrické tvary ve správném umístění a poměru skýtají nevyčísitelné množství využití a aplikací. Na základě jednoho pouhého tvaru je možné vytvořit velkolepé projekty s využitím parametrického principu. Ačkoliv jsem po dobu své designérské činnosti pracovala s pravidelnými i nepravidelnými geometrickými objekty, v této bakalářské práci jsem si zvolila pouze jediný tvar, a to rovnostranný trojúhelník. Vše ovšem získalo jinou perspektivu, když se k němu přidal třetí rozměr. Během výzkumu geometrických tvarů jsem narazila na polyhedrony, z nichž je velká část tvořena z geometrické sítě pravidelných trojúhelníků. Polyhedrony jsou třídimenzionální, pravidelná, dokonale symetrická tělesa, část z nich objevena Platónem ve starověku. Pochopila jsem, jak důležité je vracet se zpět k základům kultury, matematiky, přírody a k jejím zákonitostem.

Dlouhodobé výzkumy vnímání lidského oka dokazují, že symetrie a pravidelnost velice vyhovuje tomuto orgánu. Na podobné principy navazuje parametrické navrhování, což je metoda práce, která využívá digitální technologie. Software generuje možné podoby návrhu na základě zadaných dat, jehož využití se nabízí ve výrobních a stavebních procesech. Jako v dětství byly mým vzorem stavby funkcionalistické, v dospělosti jsem se posunula k současnému parametrickému designu a architektuře.

Obsah mojí bakalářské práce se tedy přirozeným vývojem dostal k využití geometrie a parametrizace polyhedronů, konkrétně octahedronů, jež jsou Platónská tělesa o osmi stěnách, tvořena rovnostrannými trojúhelníky. Dále jsem pokračovala k výzkumu využití osmistěnů v dnešním světě, tak aby byly v souladu s aktuálními lidskými potřebami a vnímáním současné architektury, designu a umění.

GEOMETRIE



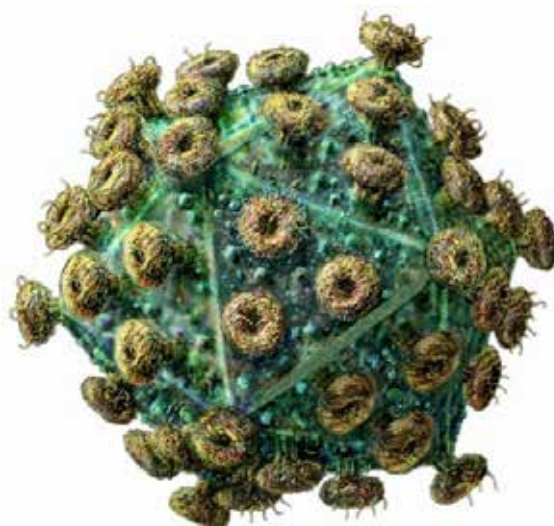
2 Geometrie a polyhedrony

Cesta, kterou jsem se vydala, se skládá hlavně z pozorování vlastností pravidelných, souměrných a tzv. dokonalých těles. Tělesa s těmito přívlastky se nazývají pravidelné konvexní mnohostěny, existuje jich pouze pět a už od dob antiky se nazývají platónská tělesa. Jejich geometrický řád tvoří stěny, které se skládají ze shodných pravidelných mnohoúhelníků. Za dob Platóna byla tělesa spojována se symboly přírodních živlů. Přibližně sto let po Platónovi přišel Archimédes se svou teorií o částečně pravidelných konvexních mnohostěnech, jejichž strany se skládají z více typů mnohoúhelníků. Těchto těles je dle matematiků třináct a stejně jako tělesa Platónova, jsou Archimédova tělesa považována za tzv. dokonalá tělesa, hlavně kvůli své symetrii, pravidelnosti a složitým matematickým propočtům.

2.1 Geometrický řád v přírodě

Působením fyzikálních jevů a zákonů, bez jediného zásahu člověka, vznikají geometrická tělesa v přírodě. Na jejich zrození se nepodílí žádný návrhář, jenž by určoval tvary a vzájemné relace těles, jsou zde v jejich kráse a tajemné síle zastoupeny pouze přírodní zákonitosti. Na začátku geneze těles je daný přírodní materiál, který je působením sil přetvořen do jiných, velmi pravidelných tvarů. Geneze seskupení buněk vytváří geometrické shluky tvořící pravidelné tvary, které matematici dodnes složitě propočítávají a následně je generují ve svých softwarech.

V přírodě se geometrie a souměrnost objevuje často, stačí si jen vzpomenout na tvar sněhové vločky, okvětní lístky květin, tvary šišek či koruny stromů. Struktury pravidelných konvexních mnohostěnů se také objevují častěji, než bychom čekali. Nemluvíme tady o rostlinách či stromech ve tvaru dodecahedronu, ale o objektech mnohem menšího měřítka, které se vyskytují hlavně ve fyzice a chemii. Platónská tělesa byla nalezena jako spolutvůrce struktury nanočástic, krystalů, krystalové mřížky, fullerenu a virů. I když je nemůžeme zaznamenat pouhým okem, neustále obklopují prostor kolem nás.



Obrázek 1: Virus HIV ve tvaru icosahedronu

2.2 Geometrický řád v umění

Na rozdíl od pravidelného geometrického řádu v přírodě, při navrhování v umění, designu a architektuře designér rozhoduje o tvaru, analyzuje vhodný tvar a následně objekt generuje v jednom z počítačových programů. Po dokončení 3D modelu a návrhů, tedy až na druhém místě, přichází úvaha o výběru materiálu a způsobu provedení. Výsledný tvar závisí především na intuici designéra.

Od přírodních věd se tedy dostáváme k umění, architektuře a designu. Lidé po staletí uznávali sílu geometrie, pravidelnosti a symetričnosti a viděli v ní hlubší až mystický smysl. Platón dokonce věřil, že pravidelná tělesa tvoří numerický vzorec božího plánu. Egypťané stavěli pravidelná tělesa, pyramidy, pro shromažďování duchovní energie. V architektuře se po celá staletí navrhovali půdorysy domů a parků dle přísných geometrických přepisů a řádů. V malířství pravidelnost také odehrála svou roli. Mezi nejslavnější malíře zpodobňující pravidelné mnohostěny, patří renesanční umělec Leonardo da Vinci, který v 16. století ilustroval knihu s názvem *The Divine Proportion* a vyplnil ji stránkami plnými skic polyhedronů. Inspiraci v mnohostěnech našlo více známých malířů, jako např. Piero della Francesca, Albrecht Dürer, Salvador Dalí a Maurits Cornelis Escher.^{1,2}

¹ HART, George W. Leonardo da Vinci's Polyhedra. *Georgehart* [online]. [cit. 1999]. Dostupné z: <https://www.georgehart.com/virtual-polyhedra/leonardo.html>

² Platónské těleso. *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Plat%C3%B3nsk%C3%A9_t%C4%9Bleso



Obrázek 2: Leonardo da Vinci a použití icosahedronu

Obrázek 3: Salvador Dalí a použití dodekahedronu

Na přelomu 19. a 20. století se geometrie propojila s uměním až do té míry, že užité předměty kolem nás byly umělci rozkládány na nejzákladnější geometrické útvary. Tato inovativní metoda založená na prostorové koncepci díla dala za vznik novému uměleckému směru, kubismu.

Ve 21. století vznikají geometrizované objekty v designu i architektuře (viz. State of the Art) a dále objekty z oblasti umění jako například exhibice „No Spectators: Beyond the Renwick“, která v centru Washingtonu propaguje krásy Burning Man festivalu využívající polyhedrony jako často se opakující umělecké objekty.³



Obrázek 4: Polyhedron v umění 21. století

³ GOLDCHAIN, Michelle. Beyond the Renwick: Six public art installations enliven Downtown D.C. *Curbed* [online]. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://dc.curbed.com/2018/4/5/17201864/burning-man-renwick-gallery-art>

2.3 Koncept

Hlavní pilíře, o jejichž definice se opírá tato bakalářská práce, jsem si stanovila už v začátcích výzkumu a postupem času jsem přidávala další pro mě důležité pojmy. Samotné definice jsou sice zásadní, ale při jejich propojení teprve vyplouvá na povrch směr, kterým jsem se rozhodla vydat. Kromě základního vysvětlení jednotlivých částí následují také úseky věnované filozofům, umělcům, designérům či architektům, jež působili v jednotlivých odvětvích nebo v nich působí dodnes.

2.3.1 Polyhedrony

První důležitý pilíř z oblasti geometrie tvoří polyhedrony. Jsou to třídimenzionální pravidelná pevná tělesa z polygonálních stěn s ostrými vrcholy a rovnými hranami. Když rozdělíme slovo polyhedron, poly zde znamená mnoho a hedron znamená základ, česky polyhedron překládáme jako mnohostěn. Je to tedy pravidelné těleso skládající se z mnoha shodných stěn, které jsou často tvarově identické. Z fyzikálního a matematického hlediska, byla v 18. století sepsána Eulerova věta Leonhardem Paulem Eulerem, jenž určuje vztah mezi počtem vrcholů (v), hran (h) a stěn (s) konvexního mnohostěnu a zní: $v - h + s = 2$.^{4,5}

Platón, jež byl následníkem Sokrata, poprvé sepsal a pojmenoval všechny pravidelné konvexní mnohostěny ve spisu Timaeus přibližně 350 let před naším letopočtem. Dále polyhedrony přiřadil ke čtyřem základním živlům: tetrahedron k elementu ohně, hexahedron k živlu země, octahedron pro vzduch, icosahedron pro element vody a dodecahedron označil jako symbol dvanácti vesmírných souhvězdí. V návaznosti na svou náboženskou víru je neustále spojoval se vznikem vesmíru a celého světa. Ve 3. století před naším letopočtem Archimédés zkoumal částečně pravidelné konvexní mnohostěny, jejichž každé dva vrcholy jsou navzájem symetrické a v návaznosti vytvořil seznam třinácti těles, který rozšiřuje Platónův výzkum polyhedronů.^{6,7}

⁴ Mnohostěn. *Wikipedia* [online]. [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mnohost%C4%9Bn>

⁵ Eulerova věta. *Wikipedia* [online]. [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mnohost%C4%9Bn>

⁶ WEISSTEIN, Eric W. Polyhedron. *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Polyhedron>

⁷ HEILBRON, J.L. Platonic solids. *Britannica* [online]. [cit. 2019]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/Platonic-solid>

V roce 1596 se Johannes Kepler pokusil o vytvoření modelu sluneční soustavy s pomocí Platónových těles v práci *Mysterium Cosmographicum*. V 16. století bylo známo pouze šest planet, mezi která Kepler vložil do svého modelu Platónova tělesa. Důsledkem své teorie se domníval, že počet planet je omezený v návaznosti na počet pěti těles. Výzkum nebyl zcela úspěšný, ale napomohl k pozdějšímu vývoji zákonů orbitální dynamiky. Kepler-Poinsotova tělesa tvoří stěny pentagramů, jež se spojují ve svých vrcholech.⁸

Dalším zajímavým pojmem v oblasti polyhedronů je tzv. dualita těles, přičemž duální mnohostěn je tvořen body ve středu stěny původního mnohostěnu. Vzniklé body vytvářejí vrcholy pro nově generovaný mnohostěn. Poprvé je popsal Eugène Catalan v roce 1865. Katalánská tělesa (viz. tabulka níže) jsou polyhedrony, jenž vznikly jako duální tělesa k Platónským a Archimédovým tělesům.⁹

Základní dělení polyhedronů, které zahrnuje i Platónská, Archimédova, Kepler-Poinsotova a Katalánská tělesa, která jsou zmíněna výše, tvoří dvě hlavní skupiny: konvexní a hvězdicovité mnohostěny. Dále se pak dělí na pravidelné, částečně pravidelné a polo pravidelné. Mezi konvexní polyhedrony patří Platónská tělesa, Archimédova tělesa, Katalánská tělesa, Prismy, Antiprismy, Bipiramidy a Trapezohedra tvary. Hvězdicovité polyhedrony tvoří Kepler-Poinsot polyhedrony, jednotné hvězdicové mnohostěny, Hvězdicovité Prismy, Hvězdicovité Antiprismy, Hvězdicovité Bipiramidy a Hvězdicovité Trapezohedra tvary. V tabulce je přehled konkrétního rozdělení do skupin dle tvarů těles a relací.

KONVEXNÍ		KONVEXNÍ DUÁLNÍ		HVĚZDICOVITÉ		HVĚZDICOVITÉ DUÁLNÍ	
PRAVIDELNÉ							
PLATÓNSKÁ TĚLESA				KEPLER-POINSOTOVI POLYHEDRONY			
ČÁSTEČNĚ PRAVIDELNÉ							
ARCHIMÉDOVI TĚLESA		KATALÁNSKÁ TĚLESA		JEDNOTNÉ HVĚZDICOVITÉ MNOHOSTĚNY			
POLOPRAVIDELNÉ							
PRISMY	ANTIPRISMY	BYPIRAMIDY	TRAPEZOHEDRA	PRISMY	ANTIPRISMY	BYPIRAMIDY	TRAPEZOHEDRA

Obrázek 12: Vlastnosti mnohostěňů

⁸ KNETLOVÁ, Anna. *PRAVIDELNÉ MNOHOSTĚNY* [online]. Plzeň, 2016 [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/24495/1/BP_Knetlova.pdf. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI. Vedoucí práce RNDr. Václav Kohout.

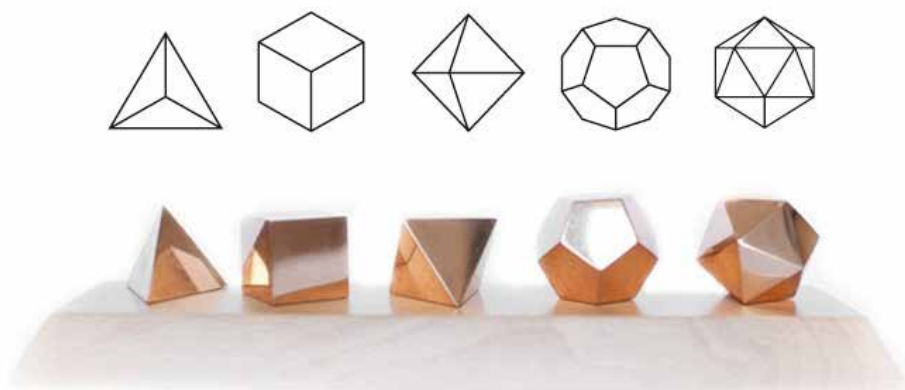
⁹ BRKOS Team. *Mnohostěny* [online]. Brno, 2010 [cit. 2010-02-05]. Dostupné z: <http://brkos.math.muni.cz/files/download/mnohosteny.pdf>. Prezentace.

V této práci se nejvíce věnuji pravidelným konvexním mnohostěnům neboli Platónským tělesům, kterými jsou Tetrahedron, Hexahedron, Octahedron, Dodecahedron a Icosahedron. Tetrahedron má čtyři shodné stěny, které jsou tvořeny z pravidelných trojúhelníků. Hexahedron, neboli krychle, je tvořen šesti shodnými stěnami ve tvaru čtverce. Octahedron tvoří osm identických stěn, jež mají tvar pravidelného trojúhelníku. Dodecahedron se skládá z dvanácti stěn o půdorysu pětiúhelníku a poslední těleso Icosahedron, neboli dvaceti stěn, jehož plochy tvoří pravidelné trojúhelníky. Pro upřesnění počtů a vlastností jednotlivých tvarů slouží následující tabulka.¹⁰

	Počet stěn	Počet hran	Počet vrcholů	Dualita
Tetrahedron	4	6	4	Tetrahedron
Hexahedron	6	12	8	Octahedron
Octahedron	8	12	6	Hexahedron
Dodecahedron	12	30	20	Icosahedron
Icosahedron	20	30	12	Dodecahedron

Obrázek 12: Vlastnosti mnohostěnů

Pravidelné konvexní polyhedrony jsou dnes často využívány jako objekty umění či matematického zkoumání. Na obrázku níže jsou zakresleny obrysy těles společně s konkrétními pěti Platónskými tělesy.¹¹

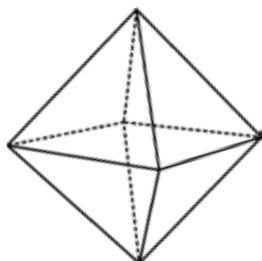


Obrázek 5: Tetrahedron, Hexahedron, Octahedron, Dodecahedron a Icosahedron

¹⁰ Mnohostěn. *Wikipedia* [online]. [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mnohost%C4%9Bn>

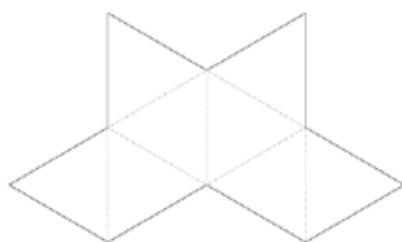
¹¹ JOC. Symmetry groups of Platonic solids. *History.mcs* [online]. [cit. 2013-03-09]. Dostupné z: <http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/~john/geometry/Lectures/L10.html>

2.3.2 Octahedron



Obrázek 6: Octahedron

Octahedron je pravidelné těleso o osmi stěnách, dvanácti hranách a šesti vrcholech. Patří pod platónská tělesa, jež byla poprvé objevena přibližně 350 let před naším letopočtem. Jeho síť je složena z osmi rovnostranných trojúhelníků, což přispívá k jeho symetrii. Osmistěn jsem zvolila jako nejvhodnější těleso, především kvůli jeho stabilní základně a symetrickému tvaru. Při dělení octahedronu na menší části vzniká prostor tvořený menšími osmistěny. Vlastnost pravidelného dělení a použití různých velikostních měřítek jsem také potřebovala využít pro další výzkum v této práci.



Obrázek 7: Octahedronová síť

2.3.3 Agregace

Slovo agregace vychází z latinského slova gregare, jež v překladu znamená houf nebo stádo. Jedná se tedy o seskupený shluk většinou tvořený stejnými nebo podobnými prvky, jenž dohromady vytvářejí celek. Základní agregace můžeme pozorovat v přírodě při růstu buněk.¹²

Kwang Young Chun, umělec pocházející z Koreje, formuje agregované obrazy vycházející z jeho předchozích zkušeností z abstraktního umění. Jednotlivé části agregace jsou tvořeny ze starých nepotřebných papírů. Umělec se snaží o přiblížení

¹² Aggregation. *Vocabulary* [online]. Vocabulary.com, 2019 [cit. 2019-03]. Dostupné z: <https://www.vocabulary.com/dictionary/aggregation>

se k vytvoření povrchu asteroidů a dalších vesmírných částic. Chunovy přesvědčivé a silné celky tvoří drobné a jemné papírové části. Každý obraz jakoby tvořil sochu stojící samu za sebe.¹³



Obrázek 8: Kwang Young Chun, Agregace

Oproti intuitivnímu lidskému vytváření agregace, je zde směr generovaného růstu, jež na druhé straně tvoří umělci, kteří agregace generují v programech po napsání složitých pravidel. Jedním z nich je matematický umělec Andy Lomas držící cenu Emmy za počítačem generované efekty. V projektu Buněčných Forem dochází k růstu drobných buněk do velkých samostatných celků. Celky fungují na principu buněčného růstu a v případě překročení hodnot se rozdělí na dvě skulptury. Inspirace biologií je zřejmá a měla by pomáhat s dalšími biologickými výzkumy.¹⁴



Obrázek 9: Andy Lomas, Agregace

¹³ Kwang Young Chun: Aggregations. *Brooklynmuseum* [online]. 2018 [cit. 2018-11-16]. Dostupné z: https://www.brooklynmuseum.org/exhibitions/kwang_young_chun

¹⁴ About. *Andylomas* [online]. [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <http://www.andylomas.com/about.html>

2.3.4 Teselace

Slovem teselace se rozumí plochý rovný povrch tvořený obrazci, jež se opakují bez překrývání a bez mezer. Vzor se opakuje v jednotlivých liniích a často se pravidelně opakujících tvarů v teselaci vyskytne více. Pojem teselace je odvozen od latinského slova tessella, jehož českým významem je slovo dlaždice. Kolem sebe můžete teselaci spatřit například v dlaždicových obkladech či v přírodě u medových pláství. V dnešní době ji využíváme zejména k tvorbě grafických paternů.¹⁵

Ve 20. století se za nejznámějšího představitele zpodobnění teselace považuje holandský umělec Maurits Cornelis Escher. Escher tvořil spousty plošných maleb tvořené téměř shodnými obrazci. K jeho dílům bylo zapotřebí velké znalosti geometrie, matematiky a zkušenosti s rozčleňováním plochy. Sám Escher teselaci nazýval Pravidelným rozdělením plochy a v roce 1958 vydal i stejnojmennou knihu. K základnímu rozvržení umělci stačili pouze tři základní obrazce jako je trojúhelník, čtverec a šestiúhelník. Další detaily tvarů vytvářel až po rozdělení roviny. Jak můžete vidět na obrázcích níže, Escher se pro své litografie obvykle inspiroval přírodou a nacházel zalíbení hlavně v rostlinách, ptactvu a hmyzu.^{16,17}



Obrázek 10: M. C. Escher, Černobílá teselace



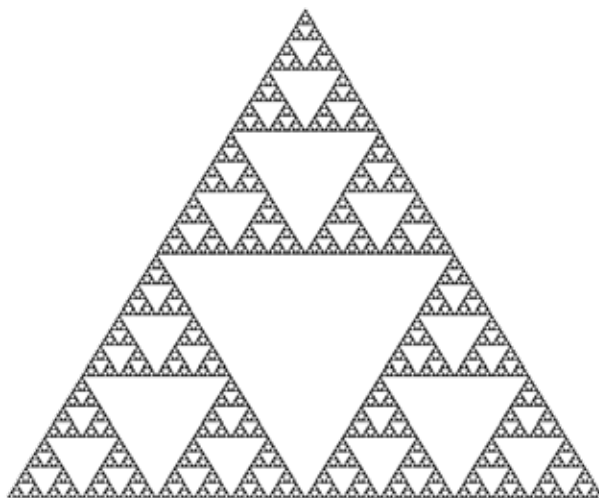
Obrázek 11: M. C. Escher, Červenobílá teselace

¹⁵ Tessellation. *Study* [online]. [b.r.]. Dostupné z: <https://study.com/academy/lesson/what-is-a-tessellation.html>

¹⁶ ALLEN, Lindsay. Tessellations and Escher. *Jwilson* [online]. [b.r.]. Dostupné z: <http://jwilson.coe.uga.edu/EMT668/EMAT6680.2002.Fall/AllenL/MATH%207200/Escher%20Project/Tessellations&Escher/Tessellations&Escher.html>

¹⁷ M. C. Escher. *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/M._C._Escher

2.3.5 Fraktál



Obrázek 12: Fraktály

V 60. letech 20. století francouzský matematik Benoit Mandelbrot poprvé definoval pojem fraktál odvozený z latinských slov fractus a frangere, jejichž významem je vytváření nepravidelných úlomků. Fraktálové studie se zabývají zkoumáním nepravidelností objektů v přírodě. Hlavními znaky fraktálů jsou vzájemná podobnost, příbuznost, nekonečnost a nezávislost na změně měřítka.¹⁸ *Fraktál je tedy jakýkoliv geometricky nepravidelný útvar, ze kterého po rozdělení vznikne v ideálním případě několik soběpodobných kopií původního celku.*¹⁹

Také v 60. letech vytvořil Desmond Paul Henry stroj na vytváření fraktálových obrazců z armádního přebývacího počítače, jež za války v letadlech určoval přesné zaměření bomby na cíl. Lehkým zásahem dokázal ovlivnit směry geneze nových tvarů, jenž dali za vznik ornamentálním a geometrickým obrazcům.

Matematické umění se často říká uměleckému směru, ve kterém jsou používány fraktály. Americký umělec Kerry Mitchell se už řadu let věnuje tvorbě abstraktních obrazců založených na generovaných algoritmech. V umění používá matematiku, jež pro něj znamená zpodobnění téměř dokonalé krásy. Pomocí fraktálů vytváří nové vzory a struktury útvarů.²⁰

¹⁸ 1. Fraktály kolem nás. Root [online]. [cit. 2007-05-22]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/fraktaly-kolem-nas/>

¹⁹ Fraktální dimenze. Is.mendelu [online]. [b.r.]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=5824

²⁰ MITCHELL, Kerry. Kerry Mitchell. *Gallery.bridgesmathart* [online]. Phoenix, Arizona USA [cit. 2014]. Dostupné z: <http://gallery.bridgesmathart.org/exhibitions/2015-bridges-conference/lkmitch>



Obrázek 13: Desmond Paul Henry, 1962

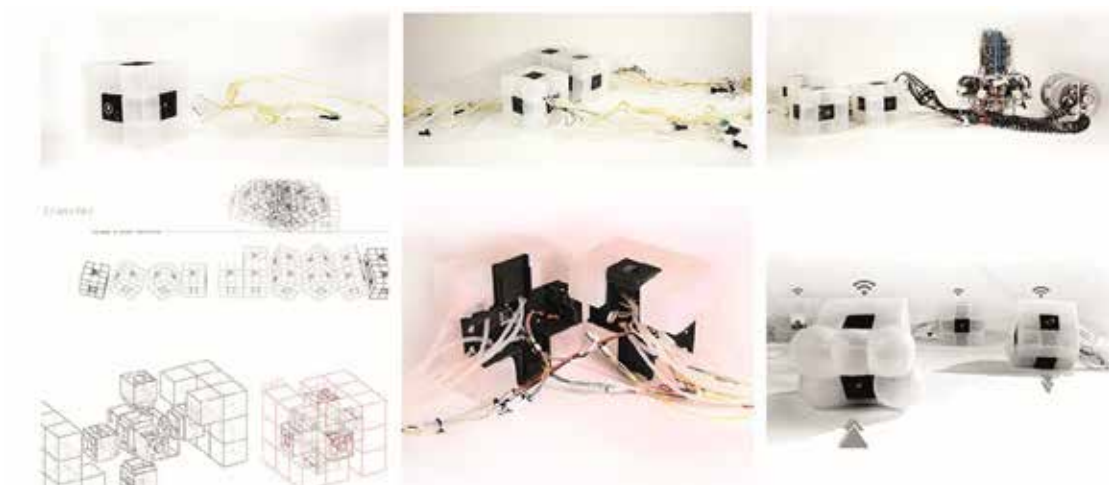
2.3.6 Locomotion

Nadřazeným slovem pro všechny druhy robotických transportů různými směry je slovo Locomotion. Výsledkem funkčního výzkumu je robot, jež se díky programovatelným částem dokáže samostatně přesouvat a jež se samostatně rozhoduje o tom, kdy a kam se bude pohybovat. Dle nejnovějších studií existuje několik druhů mobility, které byly předmětem rozsáhlých výzkumů. Nejvíce využívané pohyby se dělí na chůzi, rolování, poskakování, plazení, plavání a hybridní pohyb, který kombinuje dva druhy činností.²¹

Výzkum v oblasti Locomotion uskutečnila Londýnská škola Architektury (Architectural Association School of Architecture) ve své Design Research laboratoři pod vedením Theodore Spyropoulos Studia. Šest odlišných projektů s cílem rozpohybovat robotické moduly, zde představilo hned několik typů pohyblivosti.

Rozpohybování jednotlivých modulů krychle pomocí nafukování jejich jednotlivých částí, kterými se těleso uvedlo do pohybu v důsledku překlopení na jinou stranu, se v projektu Synergia zdařilo zcela bravurně. Hlavní ideou jsou zde urbanistické tendence a ambice stavění modulů na sebe do výšek a postupné zastavění ploch a prostorů. Moduly by měly mít schopnost sebe-sestavení a sebe-rozložení, kdykoliv je tomu zapotřebí. Jedinou nezodpovězenou otázkou, jenž z výzkumu zcela nevyplývá, je skutečnost, zda v budoucnu bude existovat možnost daný systém využívat v reálném světě a ve větším měřítku.

²¹ Robot Locomotion. *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Robot_locomotion



Obrázek 14: Synergia, AA DRL prototyping

Dalším agregujícím výzkumem ze stejnojmenného studia je projekt, který nese jméno Delta. Robotické moduly s trojúhelníkovými i čtvercovými podstavami tvořené rameny se transportují ve více směrech nebo deformují svůj vlastní tvar a vzhled. Robotické části k přepravě využívají chůzi tvořenou pohybem ramen a zároveň se potom staví jedna na druhou a stávají se adaptivním a kompatibilním celkem. Možnost využití komponentů v architektuře a stavitelství se jeví jako atraktivní, zejména pokud uplatníme ideu seberůstu a adaptivity v rámci úspory úsilí a energie.²²



Obrázek 15: Delta, AA DRL prototyping

²² PAN, Pam. AADRL – BEHAVIOURAL COMPLEXITY; MOBILE, SELF-AWARE AND SELF-ASSEMBLE. *Cmuems* [online]. [cit. 2017-09-12]. Dostupné z: <http://cmuems.com/2017/60210c/ypuep/09/12/aadrl-behavioural-complexity-mobile-self-aware-and-self-assemble>

2.3.7 Modularita

Základní elementy neboli moduly jsou závislé na stejných parametrech a v mnoha případech i na symetrii. Skupina modulů tvoří větší strukturu, jež můžeme rekombinovat a přestavovat, čímž vznikají nové tvary struktury. Při jejich vytváření je důležité dbát na dodržení přísných pravidel dané modulární struktury. Díky mobilitě modulů se modularita stává flexibilní a adaptivní, což jsou nejdůležitější vlastnosti modularity. Nejjednodušším modulem, jež si můžeme představit je cihla, chápána jako jednotka architektury.²³

Ve 20. století se modularita silně projevila v designu, architektuře i umění. V produktovém designu slavil úspěch Architekt Louis Herman De Koninck se svým návrhem Cubex kitchen, modulární a neomezeně kombinovatelnou kuchyní, která se zanedlouho stala součástí mnohých belgických domácností. Erwin Hauer, stejně jako Norman Carlberg a Malcolm Leland začali v 50. letech 20. století v architektuře navrhovat exteriér budovy za účelem vytvořit novou formu estetická, jež dovnitř propouští pouze část exteriérového světla. Měřítko modulů se přizpůsobuje prostoru a je přímo závislé na jeho velikosti.^{24,25}



Obrázek 16: Erwin Hauer, fasáda vídeňského kostela a Erwin Hauer, hra světla a stínů v interiéru

²³ CALLEBAUT, Werner. *Modularity: Understanding the Development and Evolution of Natural Complex Systems*. 21.8. 2009. The MIT Press, 2009. ISBN ISBN-13: 978-0262513265.

²⁴ WADDOUPS, Ryan. Erwin Hauer, Celebrated Sculptor of Architectural Screens, Dies at 91. *Interiordesign* [online]. [cit. 2018-01-25]. Dostupné z: <https://www.interiordesign.net/articles/14382-erwin-hauer-celebrated-sculptor-of-architectural-screens-dies-at-91/>

²⁵ *Erwin Hauer: Continua-Architectural Screen and Walls*. 2004. New York: Princeton Architectural Press, 2004. ISBN 9781568987279.

Uměleckou scénu nejvíce modularita zasáhla v 60. letech 20. století, ve stejné době se objevil architekt Tony Smith s konceptem modulárních soch. Sochy čerpají z jednoduchosti, geometrie i symetrie. Moduly procházejí třídimenčním vytažením do prostoru a jejich instalace se přizpůsobuje danému prostoru. Smith uvažoval o rozdílném použití měřítek. V projektu *Die* jež zpodobňovala černá krychle, uvedl: *Pro sebe jsem navrhl studio ve formě čtyřiceti stopové kostky - osm stop, které byly pod úrovní třídy, interiér studia, který jsem navrhl pro Betty Parsons, je půl kostka, to jsou jen specifické reference.*²⁶ Krychle se může stát architekturou, sochou i drobným objektem. Během své tvorby se Smith také zabýval i tématem pravidelných konvexních mnohostěnů, tak jako v projektu uvedeném níže, *A Dialogue*.^{27,28}



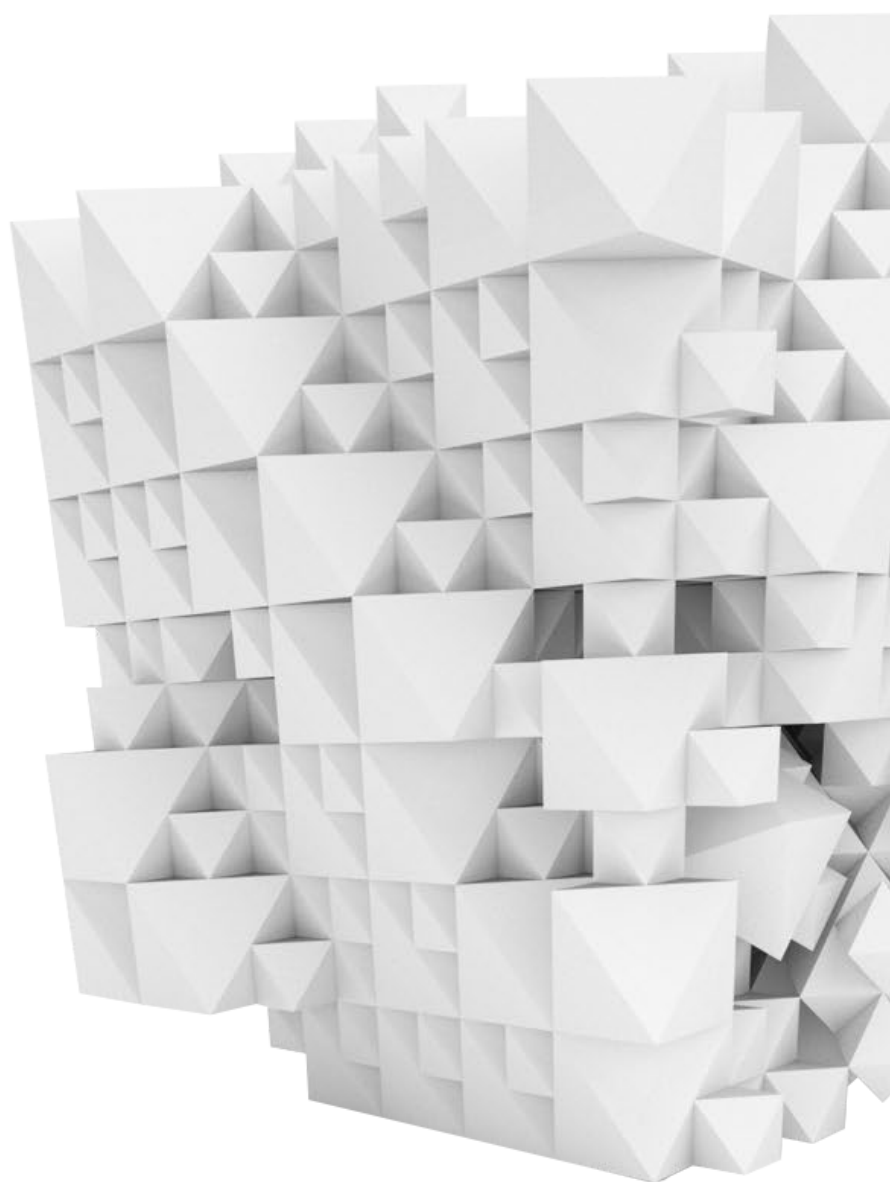
Obrázek 17: Ad Reinhardt a Tony Smith: A Dialogue

²⁶ DIE, 1962. *Tonysmithestate* [online]. [b.r.]. Dostupné z: <http://www.tonysmithestate.com/artworks/sculpture/die-1962>

²⁷ PETERS, Charley. Tony Smith: Sculpture and Painting. *Abstractcritical* [online]. [cit. 2014-09-22]. Dostupné z: <https://abstractcritical.com/article/tony-smith-sculpture-and-painting/index.html>

²⁸ Modular art. *Wikipedia* [online]. [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Modular_art

STATE OF THE ART



3 State of the art

Projekty, jež právě „letí“, jsem zvolila z důvodu společné tvarové tematiky, již se věnuji v této práci. Všechny následující referenční projekty vychází z geometrických tvarů a často jsou přímo inspirovány polyhedrony. Dále díla vznikla na základě principů modularity, agregace i teselace. Měla by poukazovat na použití geometrických tvarů v každodenním životě a hlavně na to, jestli jsou pro nás geometrické tvary uživatelsky příjemné a zda je lidé přijímají za své. Následující projekty jsou zaměřeny na dvě hlavní uplatnění komponentů a to použití v interiérovém designu a v architektuře. Zvolila jsem si tedy čtyři referenční projekty z obou oddělení, na které následně navazuje další část mého výzkumu.

3.1 Design

Jako modulární objekt, který lze snadno a do nekonečna transferovat bych ráda uvedla knihovnu v Lishin Elementary School na Taiwanu, která je vyrobena z dřevěného materiálu. Knihovnu navrhl studio Tali design, jež se dlouhodobě věnuje práci s dřevěným nábytkem. V podstatě lze knihovnu umístit do jakkoliv rozměrné místnosti, jelikož je díky své modularitě velikostně přizpůsobitelná. Její části do sebe vzájemně zapadají a v nově vzniklých prostorech mezi moduly si mohou děti číst či relaxovat. Autor se nejspíše mohl inspirovat medovými plástvemi, jelikož základním tvarem objektu je šestiúhelník. Zdá se, že geometrický prvek byl do dětského prostoru zvolen vhodně, jelikož si v něm děti můžou hrát a zároveň plní stabilní funkce knihovny.



Obrázek 18: Knihovna na taiwanské škole

Dalším volně přestavitelným nábytkem je sedací souprava inspirovaná pravidelnými geometrickými tvary. Na první pohled se může zdát, že je souprava tvořena z polyhedronů, ale při bližším zkoumání je jasné, že se jedná o nově vytvořené spojené části polyhedra tvarů, které navzájem tvoří větší celky. Jednotlivé frakce pak zapadají do sebe a tvoří pevné obyvatelné objekty. Pak už závisí pouze na zákazníkovi, zda se rozhodne sestavit si netradiční sedací soupravu či designový solitér do své domácnosti. *Jednotlivé, barevné kousky mohou být uspořádány tak, aby vytvořily vše od sochy, pohovky, židle, stolu, postele. Společnost Schamburg + Alvisse se snaží o to, aby její díly byly vyráběny na základě mezinárodně uznávaného certifikátu FSC zeleného dřeva a používaly pouze recyklované pryskyřice.*²⁹



Obrázek 19: Sedací souprava z kolekce Stop playing with yourself

Designovou referencí, která rozděluje prostor na dvě části, je předělová stěna zvaná Divisorio od Bas van Leeuwen a Mireille Meijs. Stěna, umístěna do velkého rámu, tvoří pevně stojící objekt v interiéru, který i přes svou pevnou konstrukci stále působí velmi lehce a elegantně. Další verzí produktu je častější použití, při kterém je stěna volně zavěšena do prostoru na pevných průsvitných lankách. Variabilitu povrchu tvoří hlavně spoje, které jsou umístěny pouze na dvou místech komponentu, tudíž zprostředkovávají velkou flexibilitu a hravost stěny, než kdyby spojů bylo více. Mezi hlavní výhody objektu, kromě pohyblivého povrchu patří i kvalitní materiály a jednoduchá sestavitelnost. Je to

²⁹ SIEGEL, Laurie. Schamburg + Alvisse's Stop Playing With Yourself Collection. *Www.apartmenttherapy.com* [online]. [cit. 2012-01-23]. Dostupné z: <https://www.apartmenttherapy.com/schamburg-alvisses-concept-piece-design-by-any-other-name-164636>

produkt, který je na eshopu volně ke koupi a zákazníci si ho doma následně sami postaví. Zde je reference jedné nadšené majitelky předělové stěny: *Jsem potěšena rozdělovačem prostoru! Je to lehký produkt, jednoduchý na instalaci a přináší do kanceláři skutečný dekorativní prvek. Je zábavné hrát si s aspekty tvarování povrchu, který je více či méně neprůhledný. Velice doporučuji!*³⁰



Obrázek 20: Divisorio od Bas van Leeuwen a Mireille Meijs

Posledním objektem z oblasti produktového designu je svítidlo geometrických tvarů navržené Tomem Dixonem. Dixon se celý svůj život věnuje interiérovému designu, svítidlům a nábytku. V roce 2002 se mu podařilo založit světově uznávanou a velice úspěšnou stejnojmennou značku. Ve světě se proslavil především návrhem židle S-Chair pro studio Cappellini a dále pak kolekcemi designových svítidel nevídaných tvarů z materiálů jako je například opálové sklo, vzorované kovy, pokovený polykarbonát a ručně tepaná mosaz. Svítidlo z kolekce geometrických světél Etch, tvořené vzorovaným kovem, při rozsvícení odráží geometrické tvary vzniklé průhledy v kovu. Tvarově připomíná polyhedron, stejně tak jako ostatní světla z této kolekce. Svítidlo je v nabídce v několika velikostech, takže lze do interiéru umístit i velkou skupinu svítidel, jež dle mého názoru vypadá stylově. Etch svítidla lze různě kombinovat s jinými Dixonovými kolekcemi, přičemž vznikají zajímavé shluky svítidel. Dixon si dokázal udržet nezaměnitelný styl a jeho svítidla spolu koexistují, snad díky podobné barevnosti, neotřelým tvarům i materiálům.³¹

³⁰ LOUVET, Sophie. PRESS & REVIEWS. www.apartmenttherapy.com [online]. [cit. 2015-07-07]. Dostupné z: <https://www.blooming.com/it/stampa-recensioni>

³¹ OUR STUDIO. *Tomdixon* [online]. [cit. 2019]. Dostupné z: <https://www.tomdixon.net/story/category/our-studio/>



Obrázek 21: Tom Dixon, Etch Pendant

3.2 Architektura

Z pohledu architektury je parametrický a modulární směr mnohem častější. Dánsko-islandský výtvarný umělec Olafur Eliasson se rozhodl vytvořit betonové cihly různých tvarů a dal tak vzniknout novým stavebním jednotkám architektury. Na rozdíl od klasických pálených cihel jsou betonové moduly na první pohled přitažlivější a esteticky zajímavější. S podobnou ideí přišel americký sochař Anthony Peter Smith, když vytvořil instalaci zvanou Bat Cave, tvořenou tisíci moduly tetrahedronu a octahedronu.



Obrázek 22: Olafur Eliasson- Concrete 'Quasi-Bricks'



Obrázek 23: Tony Smith – Bat Cave

Další stavební jednotkou, ale už jednotkou většího měřítka, je polyhedronová plovoucí kupole. Zavěšené kupole slouží v amsterdamském kempu na přenocování a některé menší příbytky k relaxaci táborníků. Hlavním materiálem je dřevo, pevné kovové spoje a ocelová lana, která jsou zachycena o okolní stromy. Dle britského magazínu Daily Mail je *spaní v kapsli vhodné pro lidi, kteří jsou už unavení z toho, že by měli jet na klasickou kempovací dovolenou, kde lidé svádí boje se stany, s mravenci a povodněmi. Kopulovitý dům na stromě, ve kterém táborníci zůstávají zavěšení ve vzduchu, je ideálním místem pro unavené cestovatele, aby si odpočinuli.*³²



Obrázek 24: The floating dome, Amsterdam

Velkolepá věž složená z několika tvarově shodných komponentů sahá do výšky až 100 metrů a slouží v Japonsku jako muzeum, galerie i koncertní hala. V přízemí se nachází hlavní vstup, který vítá všechny zvědavé návštěvníky muzea. Dále se nabízí možnost vstoupit až do samotné věže, vyjet výtahem na její vrchol a rozhlédnout se po celém městě. Komponenty jsou na sebe zrcadlovitě naskládány a vytváří tak dojem nekonečných možností stavby. Ocelová Art Tower vznikla ve městě Mito už v roce 1991, díky návrhům japonského architekta Arata Isozaki. Arata má za sebou velkou řadou architektonických děl a v roce 2019 se mu podařilo získat prestižní ocenění Pritzker Prize za návrh Muzea akademie výtvarných umění ve francouzském Versailles. *Koncertní síň Art Tower má rezidentní soubor, Mito komorní orchestr, a také hostí paletu jiných*

³² MALM, Sara. A dome from home!. [www.dailymail.co.uk \[online\]. \[cit. 2013-07-07\]. Dostupné z: https://www.dailymail.co.uk/news/article-2357841/A-dome-home-Amsterdam-campsite-offers-holidaymakers-chance-stay-unique-tents-caravans.html](https://www.dailymail.co.uk/news/article-2357841/A-dome-home-Amsterdam-campsite-offers-holidaymakers-chance-stay-unique-tents-caravans.html)

hudebních událostí ve všech žánrech, japonskými i zahraničními hudebníky. Divadlo Art Tower má také rezidentní hereckou společnost a hostí dramatická vystoupení profesionálů i amatérů. Divadelní prostor může pojmout více než 600 lidí. Kromě moderních a klasických divadelních inscenací se v divadle konají i školní vystoupení. Galerie současného umění se skládá z devíti galerií a je zaměřena výhradně na současné umění. Výstavy obvykle obsahují vysvětlující rozhovory o dílech na výstavě. Galerie současného umění také pořádá časté přednášky o moderním umění. ³³

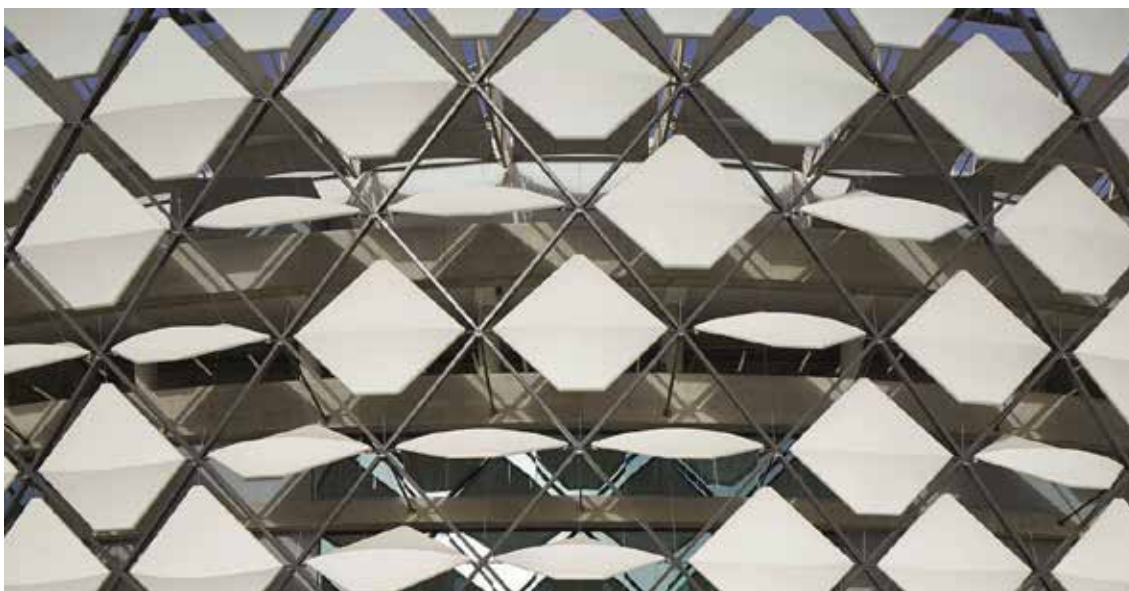


Obrázek 25: Art Tower in Mito, Arata Isozaki

Stadion pro fotbalový Al Aínský team je pokrytý kinetickou fasádou připomínající strukturu kmene stromu palmy, nejspíše právě proto, že je Město Al Ain obklopené palmovými plantážemi. Všechny moduly fasády jsou stejné, ale každý má své vlastní umístění a sklon, ve kterém se prezentuje. Fasáda plní funkci ochlazování vnitřního prostoru a to hned dvěma způsoby. Velké látkové panely vytvářejí stín pro interiér a zakrývají většinu plochy stadionu. Pohyblivost panelů umožňuje naklonit jednotlivé moduly a následně vpustit do interiéru proudy studeného vzduchu. Vše je perfektně navrženo, pro dokonalý pocit návštěvníků stadionu. Pattern Architects je skupina architektů, jejichž návrhy zahrnují koncepty s parametrickou architekturou. Matematika pro ně plní neodmyslitelnou součást jejich práce. Dlouhodobě se zabývají hlavně návrhy stadionů a veřejných budov. Mimo jiné navrhli také Al Rayyan stadion v Quataru a plno dalších návrhů stadionů rozmístěných po celém světě a hlavně Velké Británii. Další obdivuhodnou responsivní fasádou je povrch Al Bahar Towers. Tvoří ho trojčipé hvězdy,

³³ Japan Museums: Art Tower Mito (ATM). *Www.japanvisitor.com* [online]. [cit. 2019]. Dostupné z: <https://www.japanvisitor.com/japan-museums/art-tower-mito>

které se při potřebě zakrytí povrchu rozpínají do stran. Když chcete místnost nechat prosvětit sluncem, hvězdy se složí a uvolní prostor proudícímu slunci. Rozložené i složené moduly vytvářejí unikátní a nezapomenutelný vzhled, kterým jsou Al Bahar Towers proslulé. Ojedinělých a originálních kinetických fasád stále narůstá a nám nezbyvá než dále obdivovat a objevovat jejich principy a architekturu, kterou směle vytvářejí.³⁴



Obrázek 26: Hazza Bin Zayed Stadium, Pattern Architects

4.3 Umění

Poslední kategorie referenčních projektů zahrnuje díla z oblasti umění. Prvním objektem je nástěnný obraz, jež vznikl pod rukami maďarského umělce László Moholy-Nagy. Nagy byl ovlivněn německým expresionismem a později ruským konstruktivismem. Jeho obrazy tvořili hlavně čisté geometrické tvary a objekty. Během svého života se stal vedoucím kovodílny v Bauhausu a následující text vypovídá o jeho osobnosti i vztahu k umění.³⁵ *Snažil se tu docílit výtvarného vnímání a myšlení ve vztahu ke konstrukci, její statice a dynamice, rovnováze a prostoru. Materiálem bylo dřevo, plech, sklo, dráty, šňůry, žáci měli vyřešit složité úkoly, jimiž Moholy-Nagy rozhodně nešetřil. Dokonale esteticky vyřešená kompozice, opřená v jediném bodě a kývající se.*³⁶

³⁴ Hazza Bin Zayed Stadium / Pattern Design. *Archdaily* [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupné z: <https://www.archdaily.com/604755/hazza-bin-zayed-stadium-pattern-design>, ISSN 0719-8884

³⁵ AUER, Anna. László Moholy-Nagy. *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1szl%C3%B3_Moholy-Nagy

³⁶ László Moholy-Nagy. *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1szl%C3%B3_Moholy-Nagy



Obrázek 27: László Moholy-Nagy - Construction

Umělecký doplněk neboli průhled pavilonu pro Sabena Technics na výstavě Ebace Genève vytvořilo studio Espace Commun, jež se dlouhodobě zabývá tvorbou výstavních prostor. Na mezinárodních výstavách jde hlavně o úderné představení společnosti, která se prezentuje svou kójí, často v prostoru o velikosti pouze 2x2 metry. Lidé zde mají šanci navázat nové kontakty a také se více prosadit ve svém oboru, proto je vítán inovativní postoj z hlediska designování prostoru pro prezentování firem. Společnostem jde hlavně o to zaujmout a odlišit se od ostatních. Mě prostor zaujal zejména tvarem průhledu, jenž připomíná křídlo z pohledu ze shora. Jedná se totiž o společnost zabývající se leteckou dopravou. Dále je vzor doplněn o šrafování, které znemožňuje úplnou průhlednost do vnitřního prostoru. Průhled může přivést více světla do objektu, rozčlenit neatraktivní proctor, ale zároveň se stává propojením dvou odlišných míst.



Obrázek 28: Pavilonu pro Sabena Technics na výstavě Ebace Genève

Claudia Pasquero a Marco Poletto vymysleli interiérovou skulpturu, tištěnou technologií 3D tisku se speciálně navrženým porézním povrchem. Jejich socha spolupracuje s živými organismy a uvnitř jejích stěn roste nový život, jehož růst si dvojice před vytvořením skulptury nasimulovala a podle jejích transformací vymyslela tvar skulptury. Implementovaná rostlina uvnitř prochází cyklem fotosyntézy a generuje kyslík. Dvojice vidí budoucnost v architektuře ve spojení lidského zásahu a zásahu přírody, jež vytvoří biodigitální architekturu.³⁷



Obrázek 29: H.O.R.T.U.S. XL Astaxanthin.g by ecoLogicStudio

Tony Smith se nejvíce proslavil pro minimalistické skulptury inspirované polyhedrony. Většina jeho soch je vyrobena z litého bronzu s černou patinou nebo černě lakované oceli. Smith měl bohaté zkušenosti z uměleckých oborů a když se později rozhodl věnovat se sochařství, jeho získané znalosti v oblasti malířství a architektury mu pomohly dostat skulptury na takovou úroveň, ve které je můžeme vidět dnes. Na obrázku jsou k vidění moduly připravované na Expo roku 1970 v Osace. Bat Cave, jež z nich Tony Smith vytvořil, obsahovala tisíce modulů octahedronu a tetrahedronu vymodelovaných z kartonu. Celkovou kompozicí chtěl poukázat na negativní stránku prostoru vzniklého uvnitř modulů.³⁸

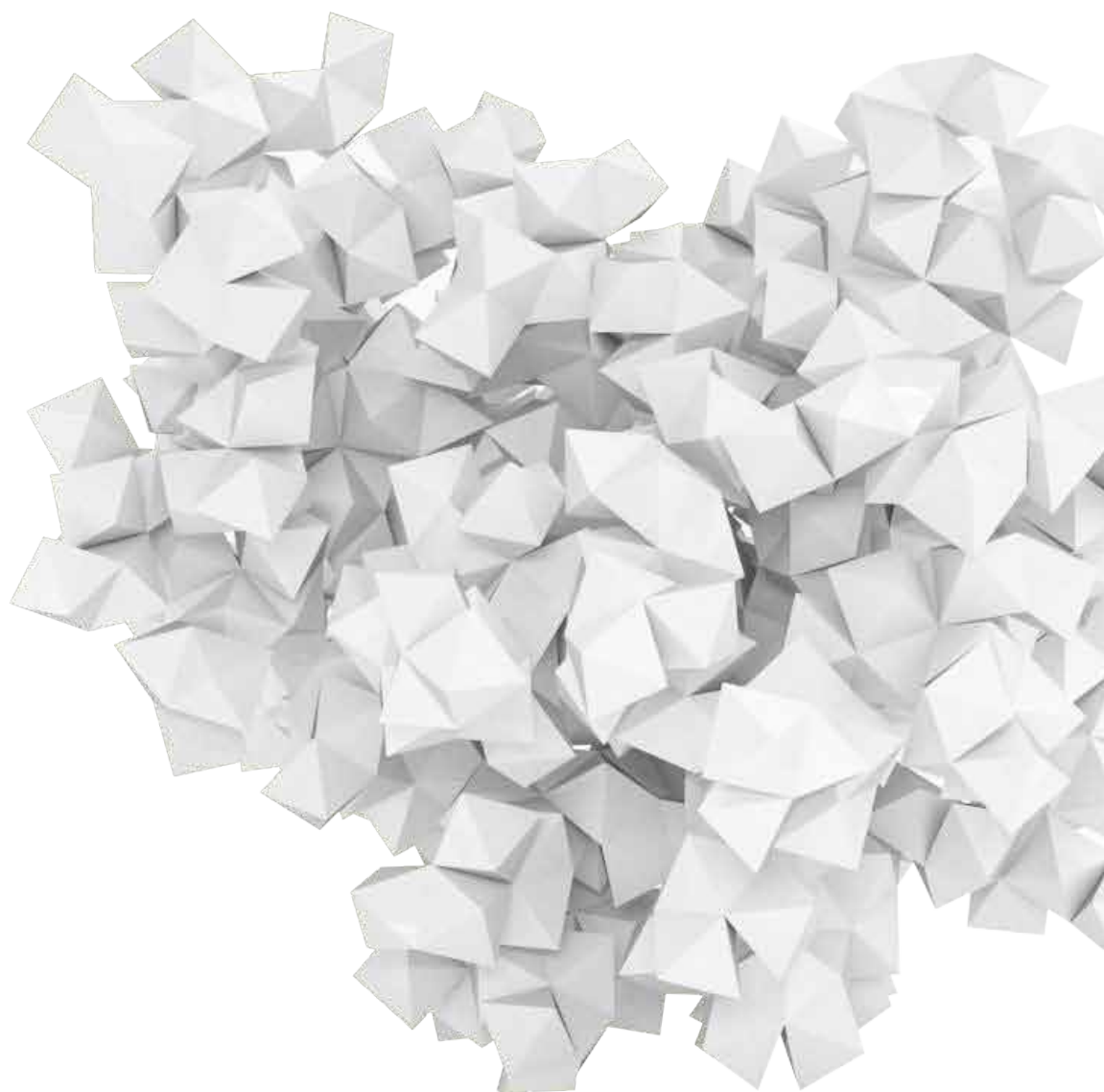
³⁷ SAY, Asli. H.O.R.T.U.S. XL ASTAXANTHIN.G BY ECOLOGICSTUDIO. *Parametric-architecture* [online]. [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <https://parametric-architecture.com/h-o-r-t-u-s-xl-astaxanthin-g-by-ecologicstudio/>

³⁸ Tony Smith. *Artnet* [online]. [cit. 2018]. Dostupné z: <http://www.artnet.com/artists/tony-smith/>



Obrázek 30: Tony Smith - Bat Cave

METODIKA

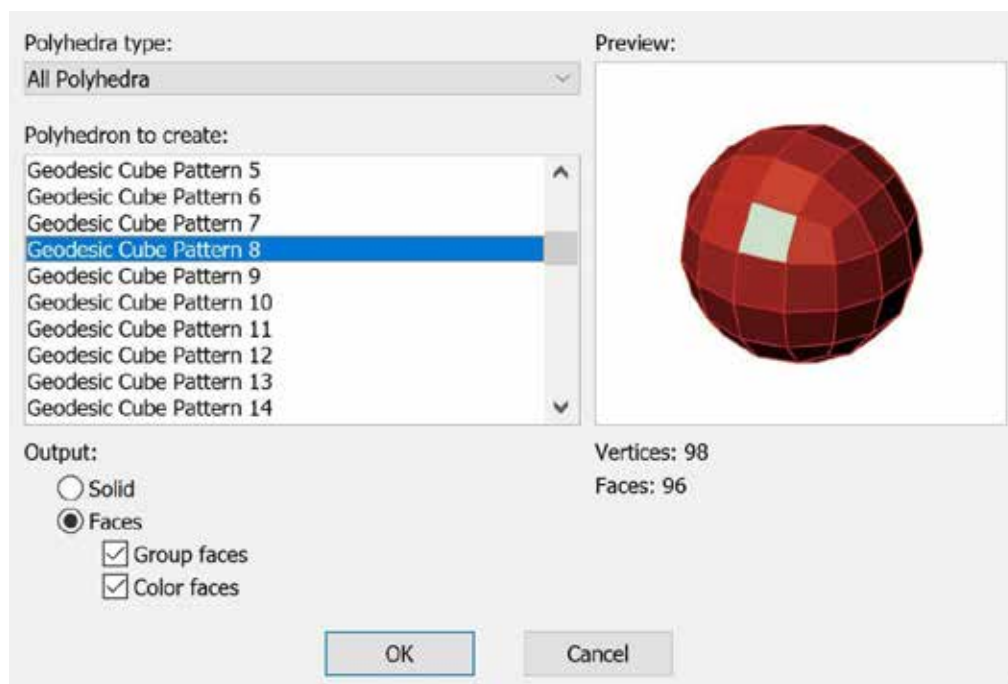


4 Metodika

K modelování kýžených výsledků jsem využívala program Rhinoceros, což je software určený k 3D modelování, a Grasshopper, jež je využíván na parametrické a algoritmické modelování a animace. Program Rhinoceros jsem použila k vytvoření většiny základních struktur modularity, hlavně na začátku práce. Plug-in, jenž mi dopomohl k získání jednoho modulu se nazývá RhinoPolyhedra a obsahuje všechny potřebné údaje o Polyhedronech. Grasshopper mi zase pomohl k vytvoření agregací zásadních v této práci a dále pak k modelování povrchů. Během svého výzkumu jsem objevila několik metod, jež se pro mě staly zásadními. Každou metodu níže podrobně popisuji pro lepší pochopení konkrétního postupu.

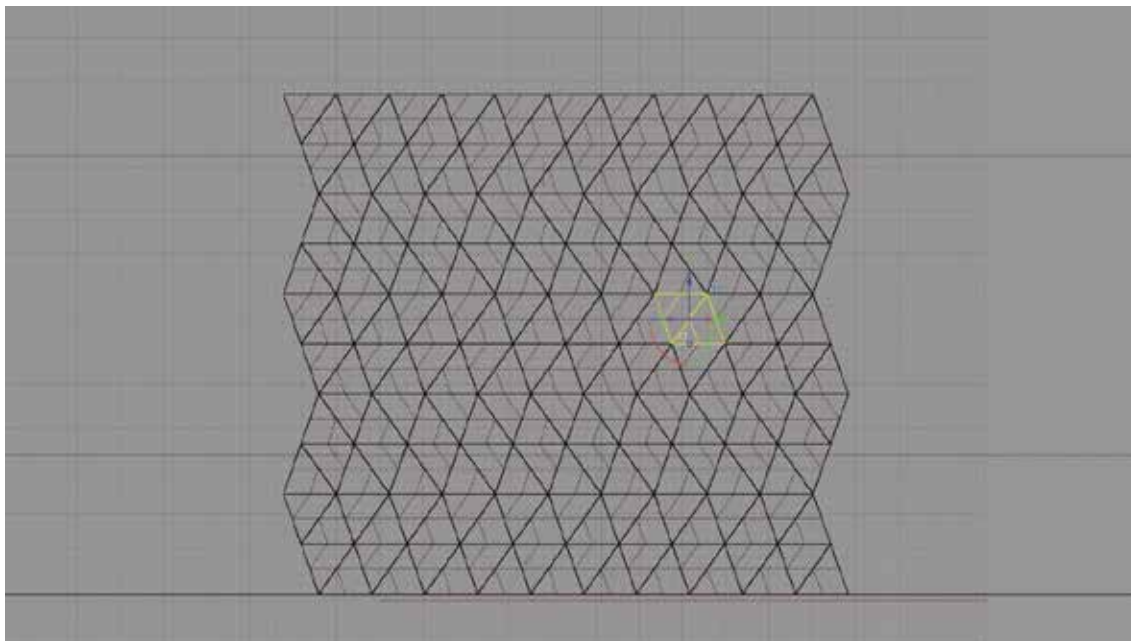
4.1 Rhinoceros a plug-in Rhinopolyhedra

K vytvoření polyhedronů existuje spousta cest, ale jedním z nejrychlejších řešení je plug-in Rhinopolyhedra, jenž obsahuje desítky druhů polyhedronů. Stačí do příkazového řádku napsat pojem Polyhedron a vybrat si zvolený útvar.



Obrázek 31: Rhinopolyhedra plug-in

Z dlouhého seznamu polyhedronů jsem si zvolila Octahedron a měla jsem k tomu zásadní důvody (viz. Modularita). Následně jsem začala vytvářet jednoduché kompozice připomínaly stěny a Octahedron se zde stal mým modulem. Začala jsem střídat směry a body dotyku modulů pro vytvoření nejvíce esteticky přívětivých modulárních systémů.



Obrázek 32: Kompozice v Rhinoceros

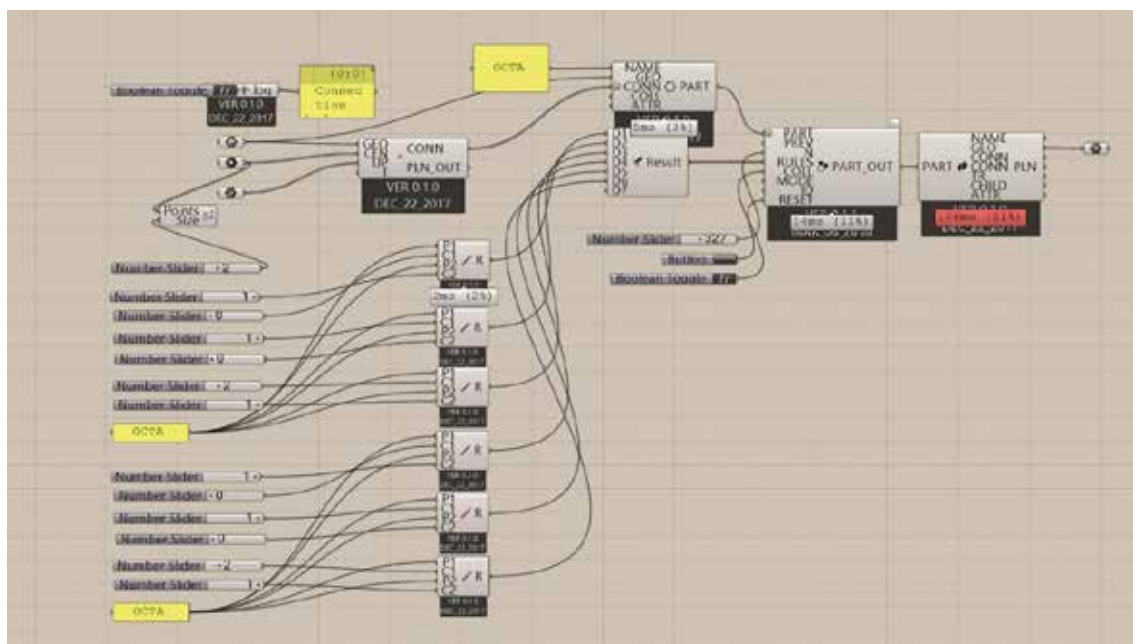
Jednotlivé moduly jsem umístila a přichytila za pomoci funkce Gumball a Osnap. Vzniklá kompozice vytvořena v Rhinoceros ukazuje Octahedron ve dvou základních pozicích. Moduly se navzájem dotýkají celými svými plochami. Následně jsem kompozici nasvítila, vytvořila jsem vhodné prostředí k renderování a přidala jsem modulům lesklý vzhled. Složenou stěnu z pohledu výše jsem vyrendrovala ve V-ray pro Rhinoceros a vytvořila jsem tvarovou studii pro další výzkum či použití, kterou můžete vidět na obrázku níže.



Obrázek 33: Studie kompozice dotýkající se plochami

4.2 Grasshopper Wasp 01

Na rozdíl od studií vzniklých pouze v Rhinoceros, jsou studie generované v Grasshopperu obohacené o další rozměr, přičemž vystupují dále do prostoru. Grasshopper založený na parametrickém modelování vytváří přesné shluky, závislé na tom, jak je člověk naprogramuje. V této metodě šlo přímo o programování agregace jednoho měřítka shodného modulu, přičemž body či jiné části dotyku byli definovány právě během procesu agregování.



Obrázek 34: Grasshopper soubor určený pro agregaci tělesa v jednom měřítku

Během vytváření Grasshopper souboru přichází zlomový moment pro dosažení očekávaného výsledku a to určení vhodného tělesa, křivek a bodů. Zvolením různých kombinací bodů a křivek dochází k naprosto rozdílným výsledkům a existuje i možnost, že se agregace neuskuteční vůbec. Neurčíme-li správně těleso, body a křivky, jež spolu mají úzký vztah, agregace nevznikne. Je tedy zapotřebí dbát hlavně na relaci mezi body a křivkami. Postupným střídáním kombinací vznikají nové agregace a shluky, jež jsou společně spojené plochami, hranami, body, částmi ploch či kombinacemi všech variant. Žádný z těchto postupných růstů by nebylo možné uskutečnit bez plug-inu Wasp, vytvořeného Andreou Rossi, jež soudě dle názvu a loga dostal svůj název od vos a včel, které se podílejí na růstu medové plástve.



Obrázek 35: Grasshopper, agregace dotýkající se plochami

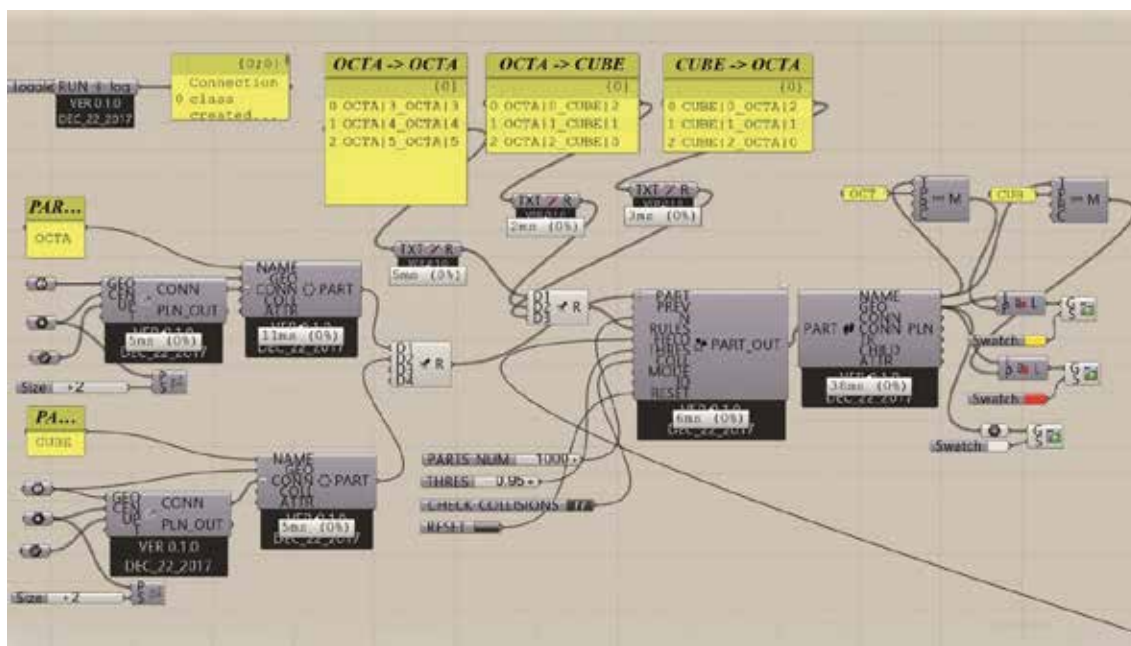
Agregace dotýkající se plochami obsahuje několik desítek modulů, přesně tolik, kolik lze stanovit v Grasshopper souboru. Jednotlivé moduly agregují jednou či více plochami a vytváří tak ojedinělý proces růstu, jež lze jen těžko napodobit lidskou rukou. Wasp dodržuje zásadní pravidla pro genezi dalších fraktálů na konci každé části shluku. Modularita je zde stále zásadním pojmem, jelikož všechny vzniklé části jsou tvořeny z jediného Octahedronu. Víše uvedený obrázek zobrazuje generovaný tvar před vytvořením tvarové studie vzniklé níže.



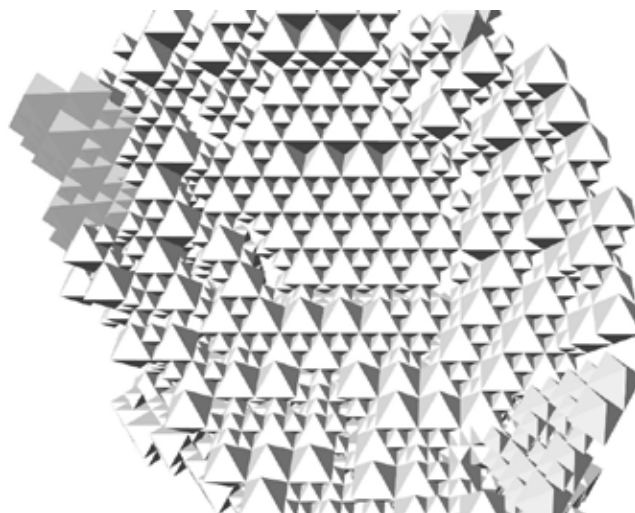
Obrázek 36: Studie agregace dotýkající se plochami

4.3 Grasshopper Wasp 02

Od agregace v jednom velikostním měřítku se dostáváme k agregaci, jež je schopná generovat růst ve více měřítkách. Konkrétně soubor na obrázku níže popisuje agregaci tělesa o dvou měřítkách. Stejně jako u růstu jednoho měřítka je zde zásadní dbát na označení těles, bodů a křivek, ale nově je zde nutné vždy vyplnit přesné relace těles do textového panelu, protože každý detail může ovlivnit výsledky agregace.

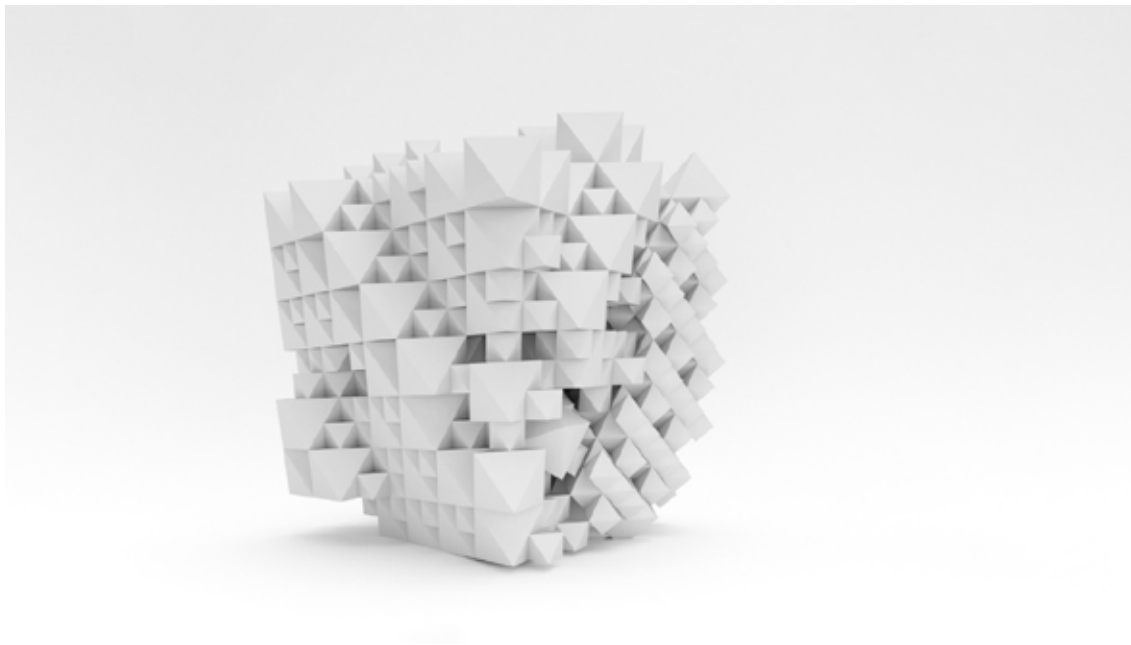


Obrázek 37: Grasshopper soubor určený pro agregaci tělesa ve více měřítkách



Obrázek 38: Grasshopper, agregace dotýkající se hranami

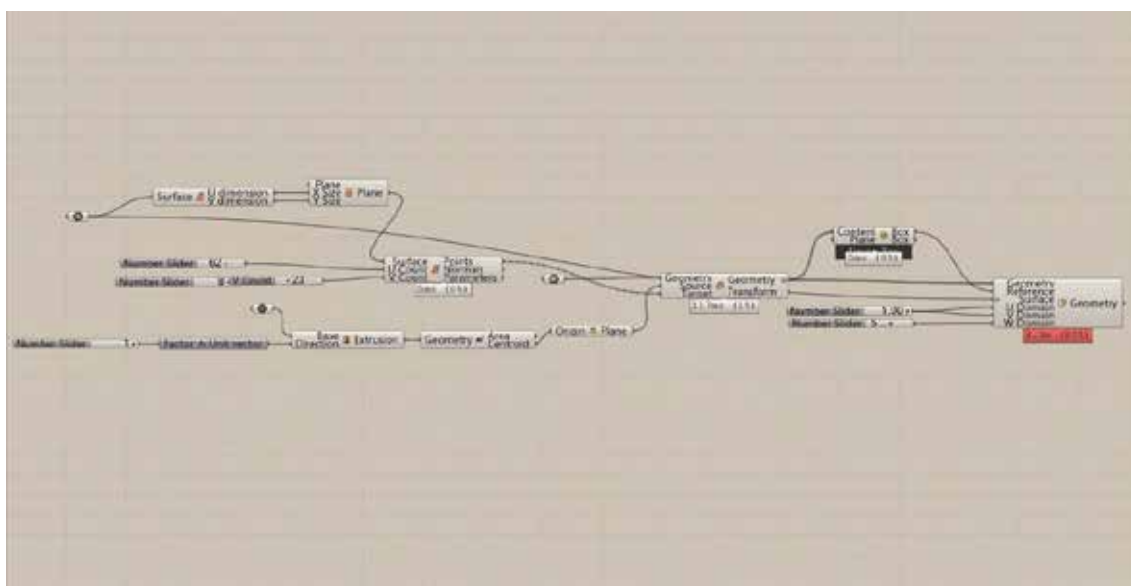
Do prázdných míst mezi Octahedrony se nyní samy umisťují Osmistěny v polovičním měřítku. Dle pravidel Waspu má každý modul předurčené místo a tak společně rostou ve větší celky, jak lze vidět na tvarové studii níže.



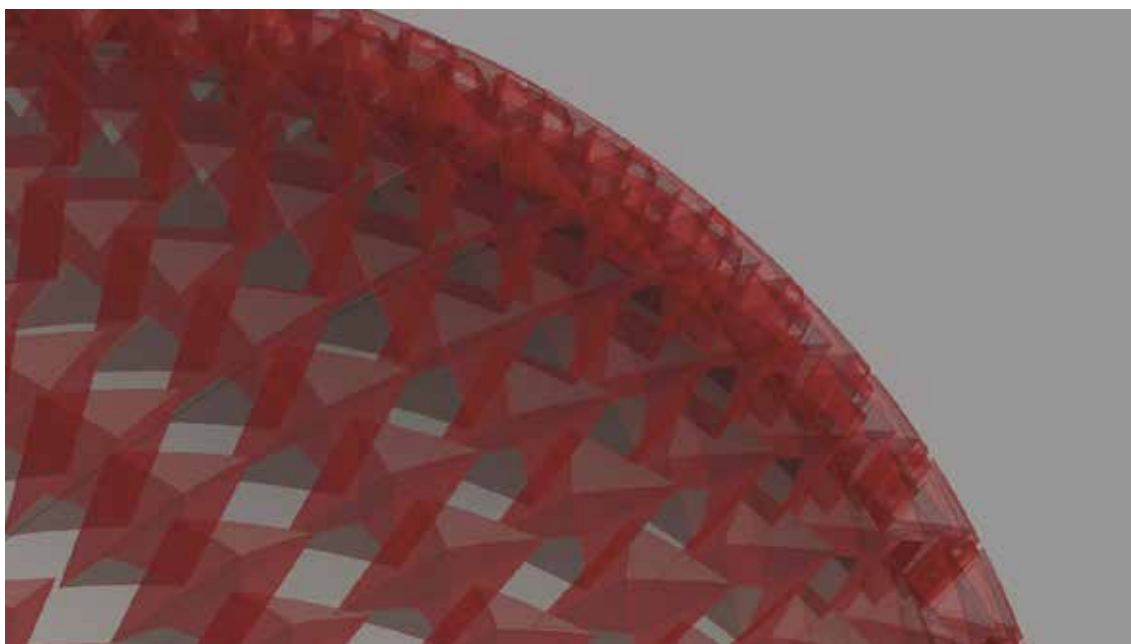
Obrázek 39: Studie agregace dotýkající se hranami

4.4 Grasshopper Object Placement

Další část projektu, ve které jsem využila Grasshopper, bylo umístění komponentů na plochu, v mém případě na fasádu. Definovala jsem si objekt, na jehož povrch jsem umístila komponenty, Octahedrony.

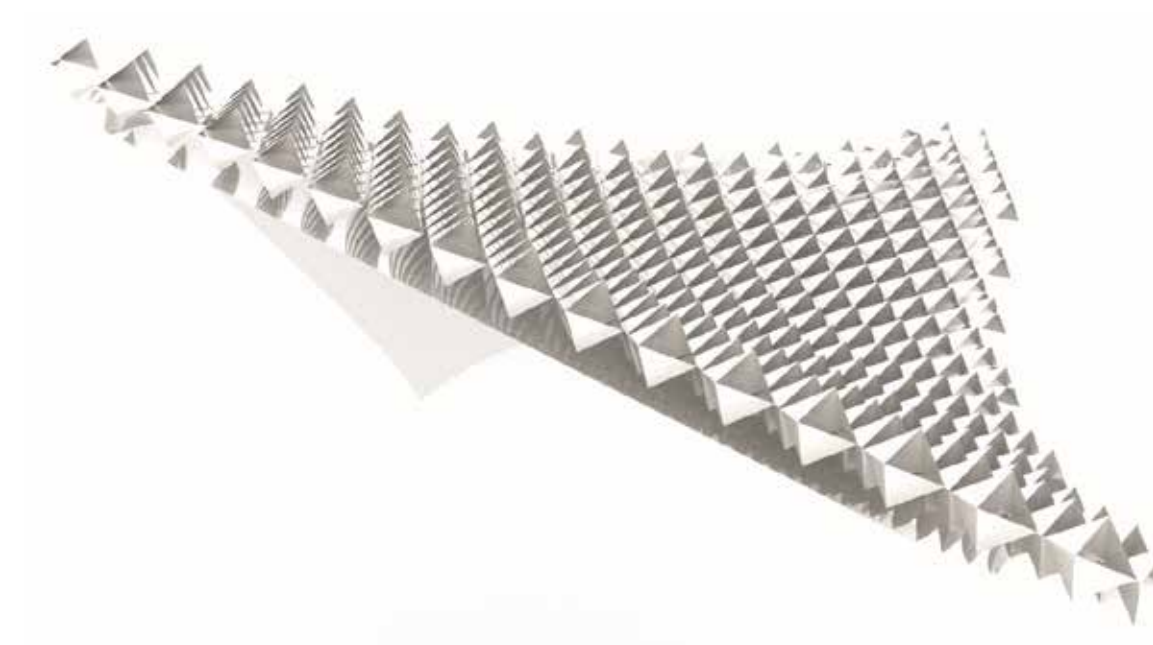


Obrázek 40: Grasshopper soubor zobrazující umístění těles na plochu



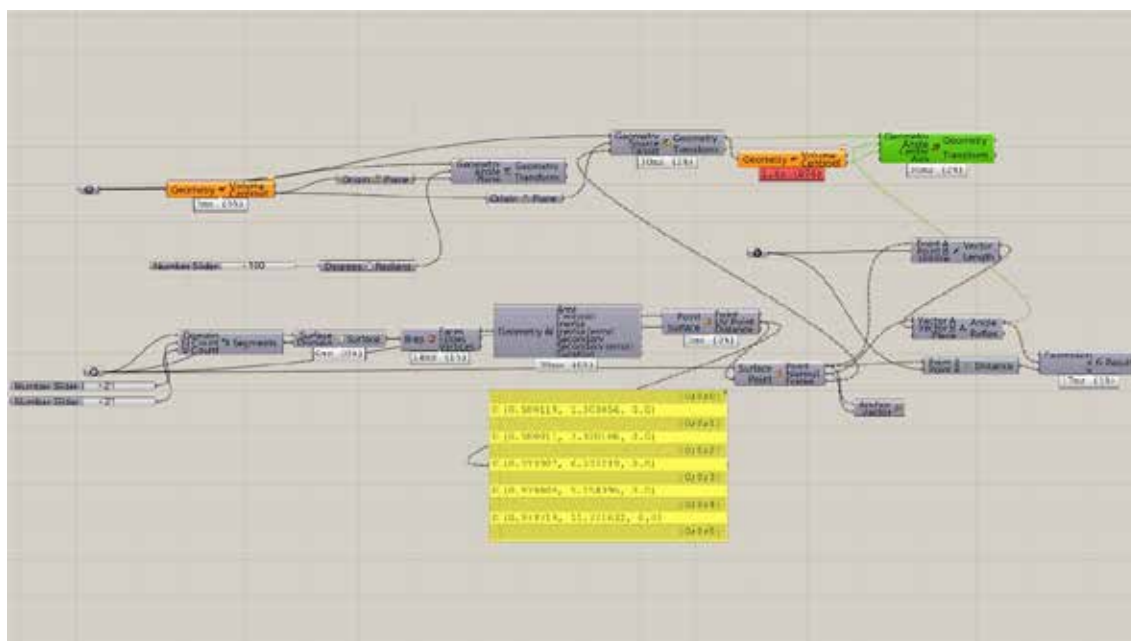
Obrázek 41: Grasshopper, komponenty umístěné na tvar koule

Otestovala jsem hned několik základních těles pro ověření funkčnosti rozmístění modulů. Moduly jsou vyrovnané v pravidelných řadách a tvoří rozestupy. Lze je aplikovat na téměř jakkoliv komplikovaný organický tvar. Použití níže je umístění komponentů na vrchní část tělesa či fasády. Podobně jako při používání Waspu, je zapotřebí určit si základní komponentu a těleso, na jehož povrch chceme komponenty aplikovat.



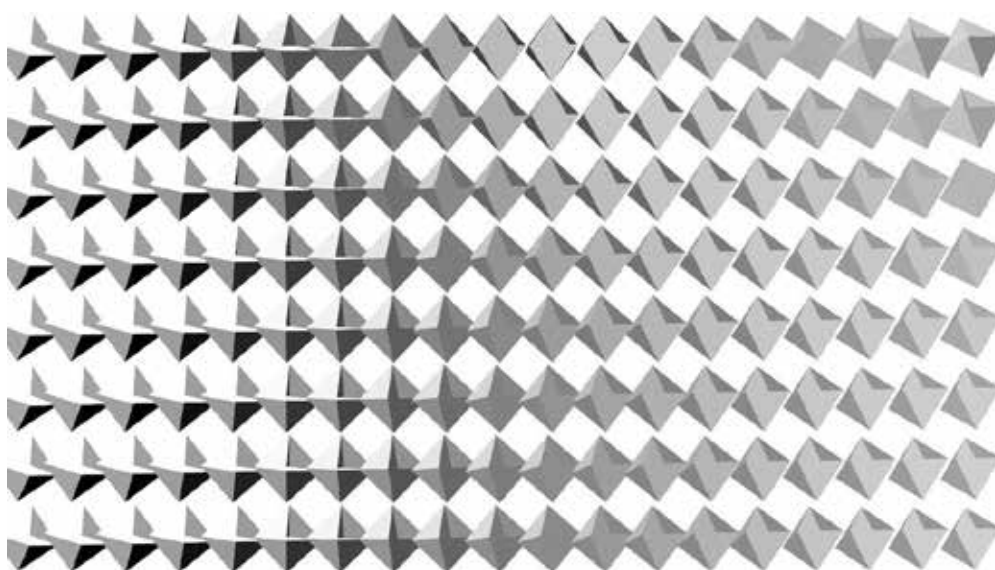
Obrázek 42: Studie umístění komponentů na fasádu

4.5 Grasshopper Attractor



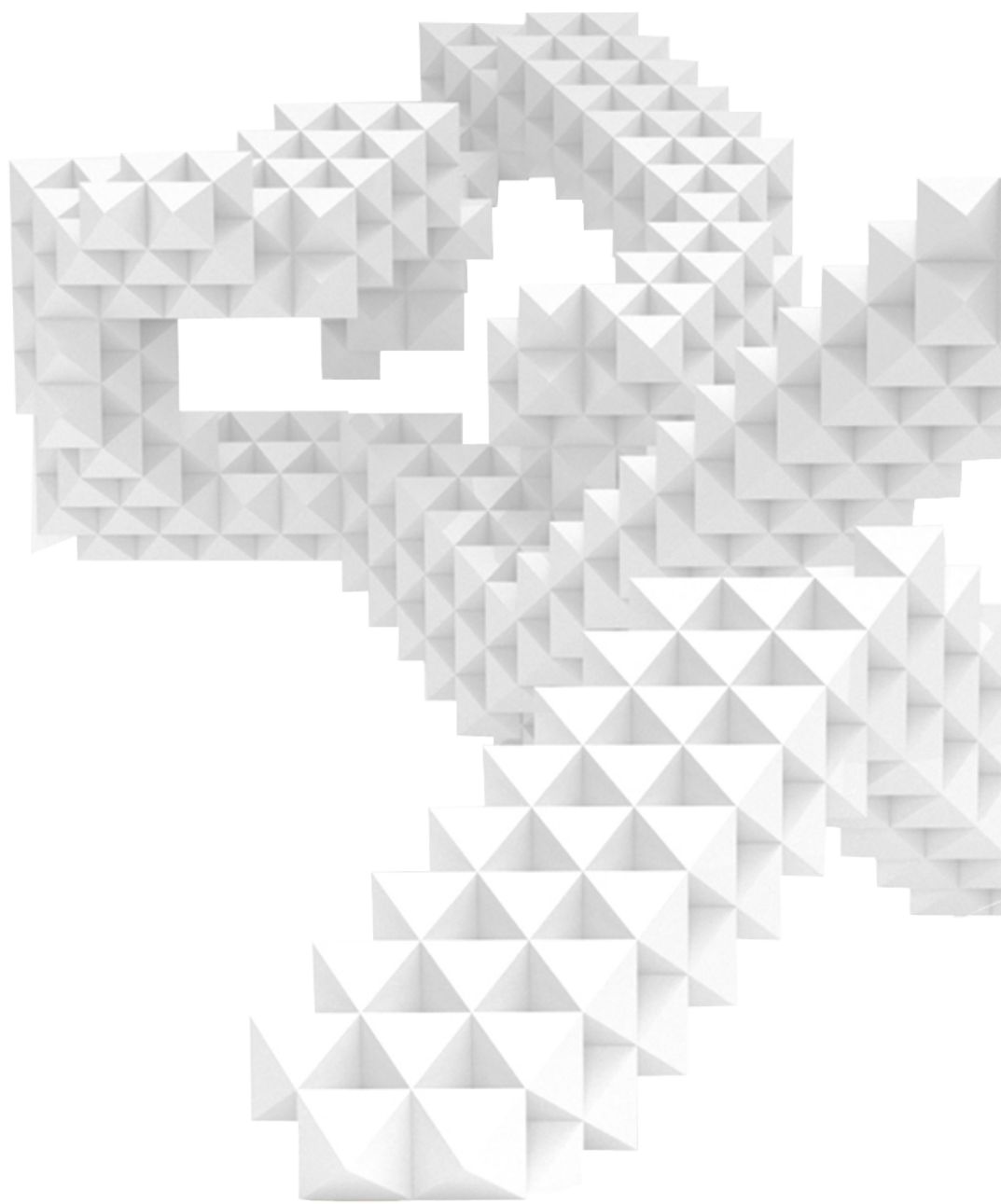
Obrázek 43: Studie umístění komponentů na fasádu

Atraktor je prvek přímo ovlivňující skupinu objektů. Pomocí atraktoru dokážeme měnit velikost, směr i rotaci tvarů, přičemž je každý objekt ovlivněn individuálně. V mém projektu jsem se zaměřila právě na rotaci modulů ovlivněnou jedním atraktorem. V našem případě jej tvoří jeden bod, v jiných případech může být atraktorem například křivka, objekt nebo více bodů či křivek. Princip vychází z určení směru vektorů a nejdůležitějším krokem je správně určit normálový vektor objektů, se kterými chceme rotovat.



Obrázek 44: Studie umístění komponentů na fasádu

MODULARITA



5 Modularita octahedronu

Modularita nabízí širokou škálu sestavitelných struktur. Shodné částice struktur, neboli moduly, jsou volně přestavitelné a adaptují se na své okolí. Vše, z čeho se modularita skládá, má kořeny v geometrii. Pro vyplnění prostorů vzniklých v návaznosti na organické tvary, jsem doplnila moduly o stejné komponenty v jiných velikostních měřítcích.

5.1 Octahedron

Modul, jenž jsem si zvolila pro tvorbu kompozic a agregací, se nazývá octahedron a patří mezi pět platónských těles, které společně spadají pod polyhedrony neboli mnohostěny. V začátcích výzkumu polyhedronů jsem se snažila o výběr nejvhodnějšího komponentu a prováděla jsem testování jednotlivých polyhedronů, jež spočívalo hlavně v provádění štěpení jednotlivých mnohostěnů na menší objekty. Postupně jsem došla k nejvhodnějšímu modulu, jež zpodobňuje právě osmistěn se svou stabilní základnou a symetrickým tvarem. Octahedron vytváří struktury, mezi kterými vzniká prostor pro další tvar nazývaný tetrahedron, jež také patří mezi Platónská tělesa. Octahedron i tetrahedron mají stěny tvořené ze shodných rovnostranných trojúhelníků, což je hlavním důvodem k jejich kompatibilitě.



Obrázek 45: Octahedron



Obrázek 46: Tetrahedron

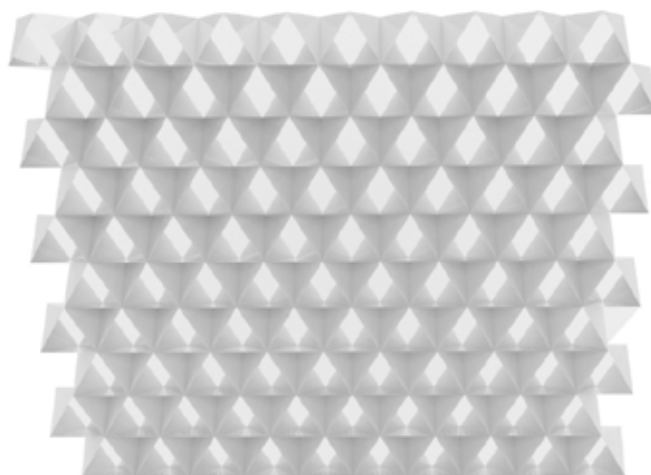
5.2 Rhinoceros

Komponenty octahedronu jsem dále využila pro tvoření kompozic a tvarových studií. V první fázi jsem zpracovávala kompozice v programu Rhinoceros a intuitivně jsem vytvářela systém modulárního skládání. Dále jsem pak porovnávala estetiku a funkční stránku jednotlivých návrhů. U skládaných forem jsem využívala formu upraveného octahedronu bez dvou protilehlých stěn z důvodu větší míry prostupnosti světla.



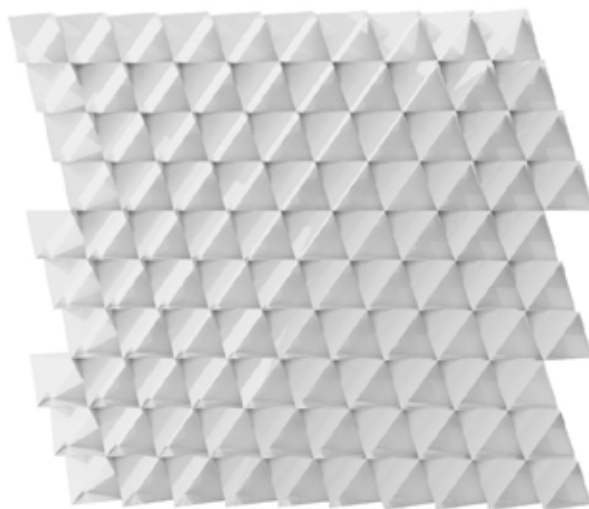
Obrázek 47: Upravený octahedron pro větší prostupnost světla

První stěna složena z osmistěnnů na sebe navazuje v místech, kde se nacházejí hrany octahedronu. Všechny komponenty jsou umístěny ve stejném směru a při přímém prosvícení dochází k velkému prostupu světla. Kompozici hodnotím jako lehce nestabilní, vezmeme-li v potaz reálné složení modulů na sebe. Při pohledu zepředu z ní vystupuje vzor tvořený kosočtverci či vzor pravidelných protichůdných linií.



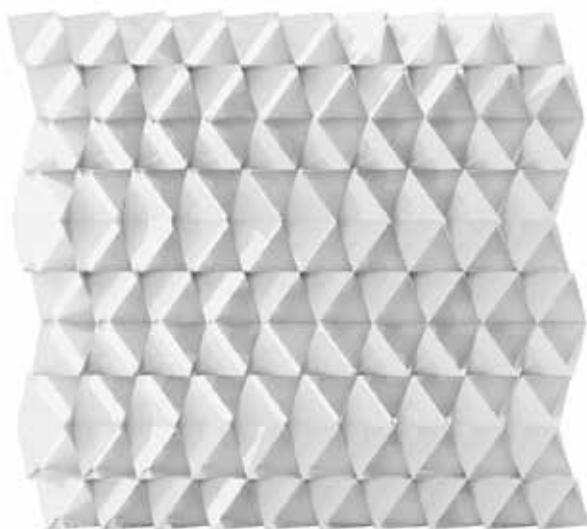
Obrázek 48: Kompozice tvarů spojených hranami

Další kompozici tvoří moduly navzájem se dotýkající částmi ploch. Stěna se zdá být podstatně stabilnější a esteticky přijatelnější. I když jsou všechny octahedrony otočeny stejným směrem, prostupnost světla je zde omezena pouze z jednoho úhlu. Perspektivním uspořádáním vzniká dojem jakéhosi postupného otáčivého pohybu komponentů, plynoucího od uzavřených modulů k pomalu se otevírajícím částem.

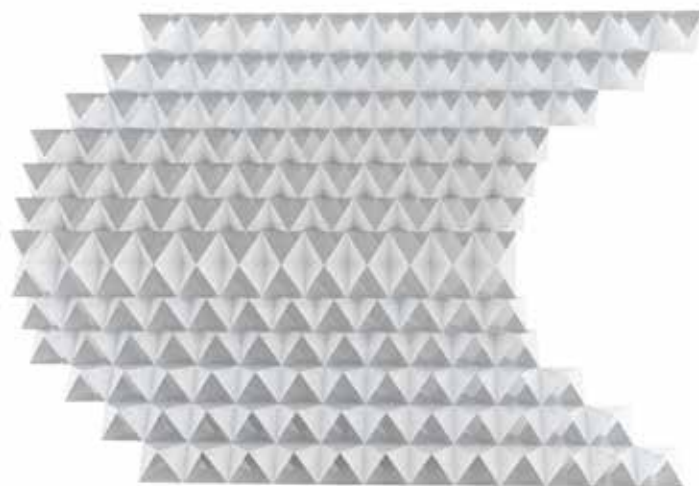


Obrázek 49: Kompozice tvarů spojených částmi ploch

Stěna spojená plochami modulu, na obrázku níže, vytváří stabilní kompozici po funkční i estetické stránce. Vzor kompozice generuje pravidelné vlny tvořené střídáním směrů jednotlivých komponentů. Světlo má příležitost procházet stěnou hned ze dvou rozdílných úhlů. Navazuje harmonický dojem a není těžké odhadnout, jaký směrem se bude ubírat dál. Kompozici jsem dále rozhodla využít v kapitole šesté, o koncepčních návrzích a použití, ve které je zaimplementována do návrhu multifunkční stěny.



Obrázek 50: Kompozice tvarů spojených celými plochami



Obrázek 51: Kompozice tvarů spojených body, hranami, částmi ploch a celými plochami

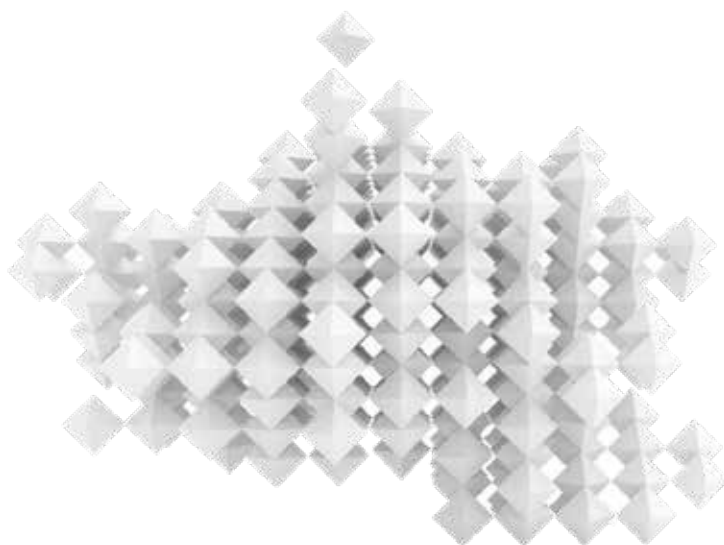
Obrázek výše znázorňuje poslední studie stěny, jež vychází z konceptu modulů spojených body, hranami, částmi ploch i plochami. Při aplikování všech těchto systémů dochází k vytvoření oblouku či architektonické klenby. Vrchní část kompozice v reálném prostředí hodnotím jako nestabilní, avšak průchod světla je zde velkolepý. Octahedrony jsou umístěny ve dvou pozicích, hlavní a zrcadlené.

5.3 Grasshopper

Druhou část výzkumu kompozic tvoří shluky agregací generované v Grasshopperu pomocí parametrických údajů. Největším rozdílem je tedy lidský intuitivní faktor, jenž je v agregovaných kompozicích naprosto minimální. Dalším rozdílem je větší zásah do prostoru, přičemž už nevytvářím kompozici dvoudimenzionální stěny jako plochy, ale generuji agregaci shluku vystupujícího do třetí dimenze.

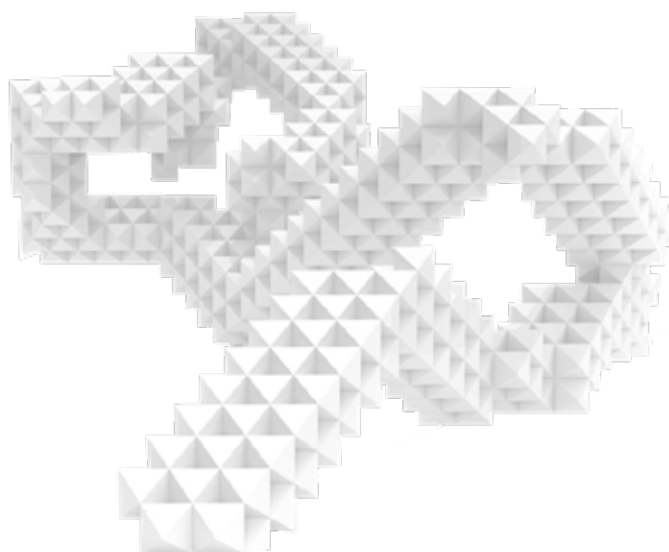
5.3.1 Agregace stejného měřítka

Octahedron rostoucí ve stejném velikostním měřítku se stal dalším předmětem mého zkoumání. Vzdušné kompozice, na obrázku níže, spojena pouze v některých bodech modulů, by měla při procesu realizace velký problém se stabilitou. Na druhou stranu jako nereálná prostorová kompozice tvoří lehkou strukturu s mnohými prostory pro proudění světla. Celková lehkost kompozice téměř navozuje atmosféru vznášejících se modulů v nereálném prostoru.

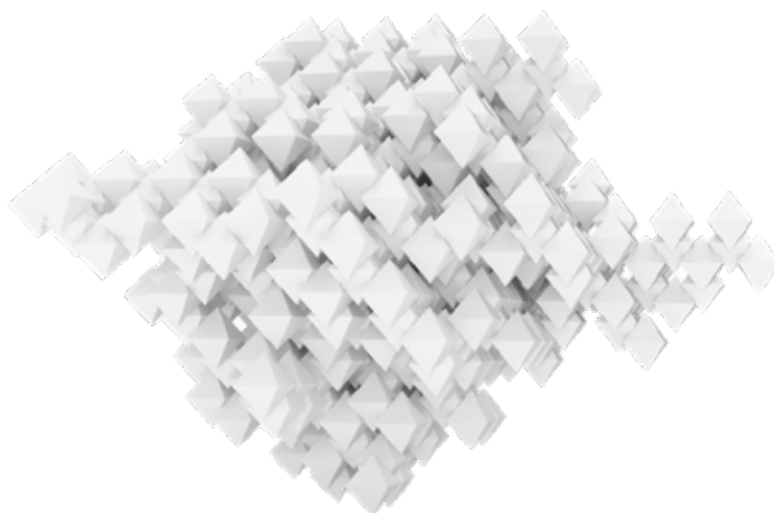


Obrázek 52: Agregace dotýkající se v bodech

Komponenty, jejichž hrany se během procesu růstu navzájem dotýkají a staví na sebe další fragmenty, jsou pravidelně uspořádány v diagonálních směrech. Nekonečná spirála, jež osmistěny kontinuálně generují, vytváří dojem objemného prostoru. Orientace úhlů jednotlivých stěn octahedronu zároveň vytváří směr, kterým se bude ubírat další růst.



Obrázek 53: Agregace dotýkající se hranami



Obrázek 54: Agregace dotýkající se částmi ploch

Výše ilustrovaná kompozice růstu vzájemně spojená částmi ploch představuje celkem stabilní prvky agregace. Nevýhodou je nízké procento proudění světla skrze moduly, kvůli hustému zastoupení osmistěnů. Části plochy mezi jednotlivými moduly tvoří spojnice, díky kterým se agregace stává stabilní a nerozbitnou.



Obrázek 55: Agregace dotýkající se plochami

Rostoucí systém propojený plochami naznačuje nízkou míru představivosti, jenž jsem měla při vytváření pravidelné stěny spojené plochami. V porovnání je stěna mnohem umírněnější než vzniklá extravagantní agregace. Dynamika generovaných fraktálů je nepřehlédnutelná a systém tvoření dalších částí je svým způsobem překvapivý a neobvyklý.

5.3.1 Agregace více měřítek

Zakomponováním více velikostních měřítek jednoho modulu do procesu růstu dochází k zaplnění většího objemu prostoru. Pracovala jsem hlavně se dvěma a třemi různými měřítky. Na shluku částic níže je agregace tvořena plochami, hranami, částmi ploch i body. Spojení všech možných typů agregování s kombinací dalšího měřítka vytváří spíše chaotické prostředí, avšak stále v něm můžeme vidět jasný princip růstu soběstačného organismu.



Obrázek 56: Agregace ve dvou měřítcích dotýkající se body, hranami, částmi ploch a celými plochami

Dvě různá měřítka octahedronu stýkající se ve všech svých bodech tvoří reálně nestabilní, nýbrž kompozičně lehkou agregaci, připomínající tančící balerínu. Jednotlivé části shluku visí na bodech jakoby skoro ani nebyly jeho součástí. V chaotickém řádu pohybu lze spatřit napodobení organického a biologického směru, například růst květin či větví stromů.

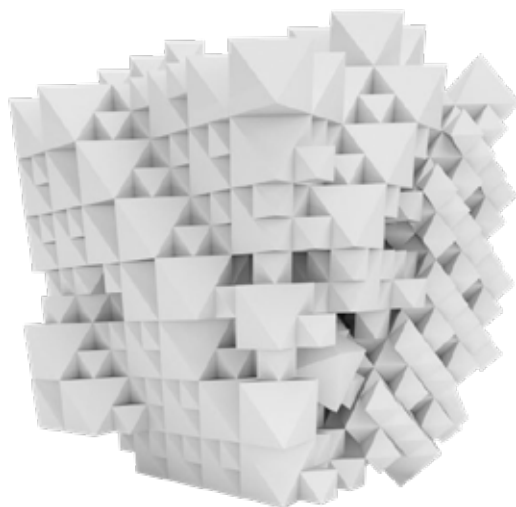


Obrázek 57: Agregace ve dvou měřících dotýkající se body

Agregace pomocí spojených ploch vyzařuje pevným vzhledem, který by mohl obstát i při realizaci kompozice. Komponenty společně vytváří jakousi architektonickou klenbu. Průsvitnost mezi moduly je minimální, jelikož v prostoru mezi octahedrony nevzniká příliš mnoho místa, z důvodu agregování plochami, jež způsobuje genezi komponentů v těsné blízkosti.



Obrázek 58: Agregace ve dvou měřících dotýkající se plochami



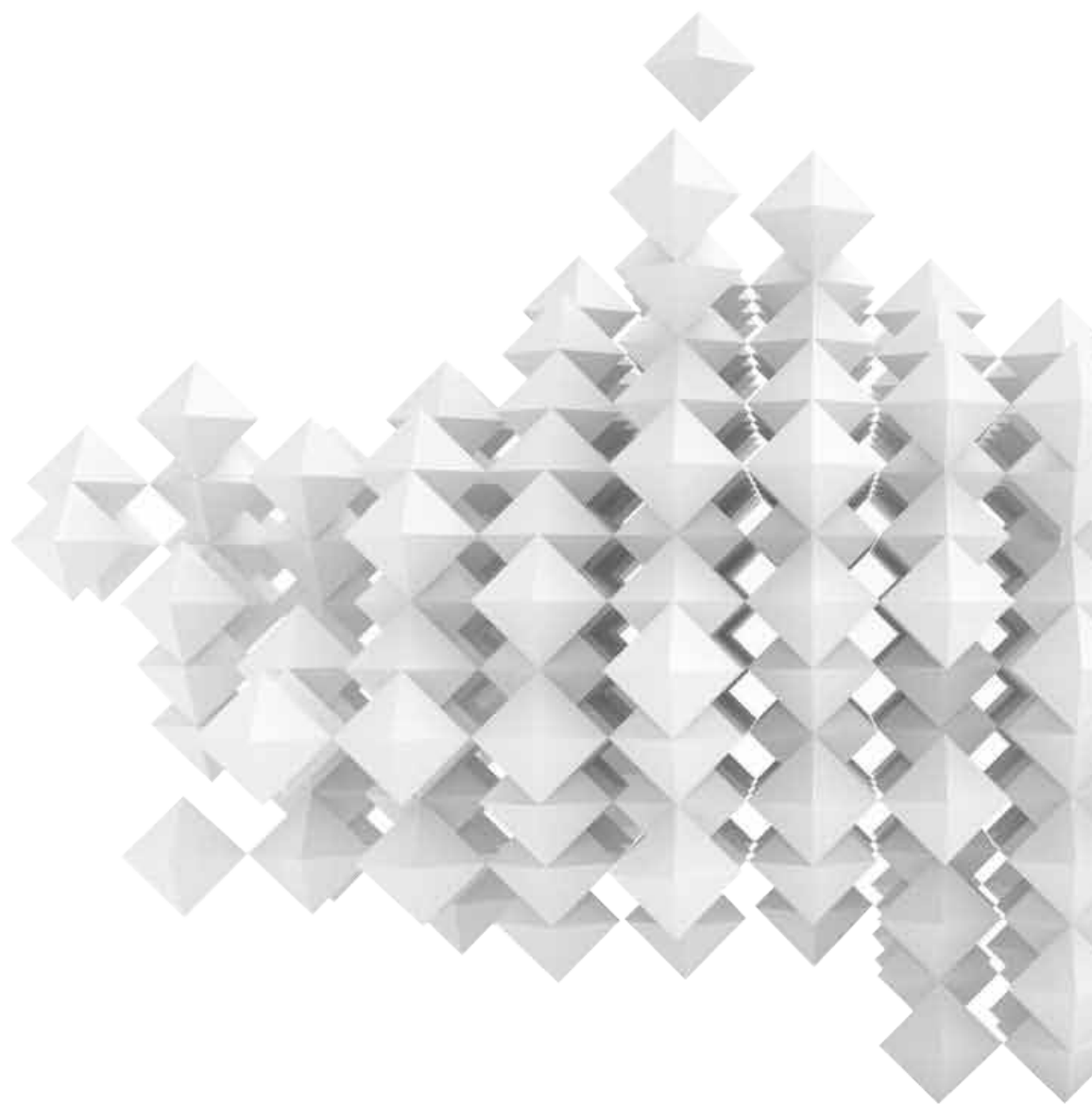
Obrázek 59: Agregace ve dvou měřících dotýkající se hranami

Výše zobrazený shluk využívající hrany k procesu růstu vyplňuje prázdňý prostor, který sám vytvoří moduly menšího měřítka. Celkový vzhled působí řádně a stabilně. To nelze tvrdit v případě spodní agregace, jež kombinuje všechny tři měřítka dohromady. Použitím menších měřítek vyplňuje vzniklý prostor mezi největšími moduly a vytváří další části růstu.



Obrázek 60: Agregace ve třech měřících dotýkající se plochami

NÁVRHY



6 Konceptní návrhy použití

Veškeré své znalosti získané po dobu výzkumu a pozorování agregací octahedronů jsem se rozhodla uplatnit a vymyslela jsem několik reálných využití výše zmíněného modulu v odvětvích jako je design, architektura a umění. Podobně jako u agregací, velkou roli v mých návrzích hraje i rozdílnost velikostních měřítek. Na jediný modul totiž můžeme nahlížet jako na sedací komponent, cihlu, jednotku určenou k žití, vysokopodlažní budovu a můžeme na něj pohlížet i jako na umělecké dílo. Vše záleží na úhlu pohledu a vztahu velikosti modulu k člověku a okolí. V některých případech jsem se oproti klasickému octahedronu rozhodla využít octahedron s průhledem, neboli těleso bez dvou protilehlých stran. Hlavní důvodem bylo hlavně estetické odlehčení kompozice a umožnění většího proudění světla skrz moduly.



Obrázek 61: Octahedron



Obrázek 62: Octahedron s průhledem

6.1 Design

Čtyři interiérové prvky, jež jsem navrhla, tvoří zastoupení návrhů z hlediska designu. Jejich hlavním společným znakem je modularita a možnost rozpořádání či přeskládání modulů. Designové návrhy lze použít k sezení, uložení věcí, rozdělení prostoru nebo naopak k jeho propojení.

6.1.1 Multifunkční stěna

Stěna využívající kompozice z tvarového výzkumu pokrývá hned několik funkcí. V interiéru slouží jako knihovna či police k odkládání věcí. Kterékoli části stěny lze libovolně přeskládat a vytvořit tak nové kreace, nebo lze jednotlivé kusy odebrat a moduly velkého měřítko použít na sezení. Některé části je nutno vyplnit akustickými objekty ke zlepšení přenosu zvuku v místnosti. Moduly by měly být vyrobeny z plechu a v každém z nich by byly vylaserovány díry pro možnost sešroubování a dosažení stability stěny. V teoretickém případě by celková soudržnost stěny mohla fungovat na magnetickém principu či principu

elektromagnetů. V této části bych ráda zmínila pojem Locomotion, jehož výzkum se zabývá principem pohybu robotických modulů. Ideálním stavem jsou tedy moduly, které jsou schopné se samostatně pohybovat z místa na místo a přestavovat se v nové celky. Než se ale dostanu k tomuto principu, čeká mě ještě dlouhá cesta plná programování, proto nyní zůstávám u první verze stěny.



Obrázek 63: Multifunkční stěna

6.1.2 Sedací moduly

Octahedronové sedací moduly jsou založené na kooperaci octahedronů a tetrahedronů. Dvě platónská tělesa, jež mají v půdorysu rovnostranný trojúhelník, společně dokáží vyplňovat prostor bez vzniku mezer. Ideou je vyplnit vzniklý prázdný prostor mezi plechovými octahedrony pěnovými částmi tetrahedronů, což umožňuje i komfortnější sezení. Oba dva komponenty společně vytvářejí pevný celek určený ke každodennímu používání.



Obrázek 64: Octahedron s průhledem



Obrázek 65: Tetrahedron

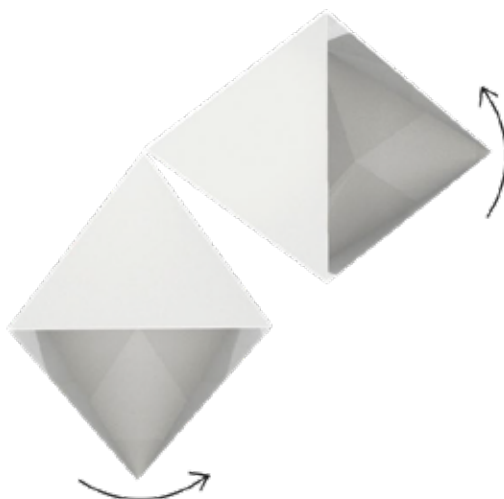
Hlavní výhodou osmistěňů by měly být magnetické mobilní části a nekonečný počet kompozic, jež lze z modulů vytvořit. Nejprve je třeba vytvořit pevnou základnu alespoň o třech komponentech a následně lze začít stavět octahedrony na sebe. Stačí jednoduše rozložit jednotlivé moduly a přesunout je na jiné místo. Při provedení odolného nástřiku proti korozi lze komponenty umístit i do exteriéru zahrady či na terasu.



Obrázek 66: Sedací moduly

6.1.3 Předělová stěna

Ve velkometrážních bytech často dochází k potřebě rozdělit prostor na dvě části. Rozdělením prostoru ale nechceme předělit místnost na dvě samostatné jednotky a ničit tak komunikaci mezi dvěma částmi pokoje. Předělová stěna svou průhledností zanechá prostor dále svolný k navázání komunikace s druhou stranou, místnost opticky rozdělí a nechá ji dále dýchat. Uživatelé objektu si pak mohou sami zvolit, do jaké míry chtějí být rušeni okolním ruchem či světlem. Moduly mají dvě protější strany průhledné, takže při vytváření vlastního soukromí záleží na směru otočení jednotlivých komponentů, jež zůstanou v pozici v jaké je zanecháte. Vertikální moduly se otáčejí směrem doprava a horizontální moduly směrem nahoru. Každý komponent má nejpevnější hlavní pozici z pohledu zepředu, aby bylo možné moduly kdykoliv seřadit do původního pravidelného vzhledu. Při lehkém tlaku se osmistěňy uvolní a svolí k otáčení ve svých daných směrech.



Obrázek 67: Směr otáčení komponentů

Velikost stěny může být variabilní v závislosti na velikosti prostoru, do kterého má být předělová stěna umístěna. Stačí použít správný počet komponentů odvozený od výšky a šířky místnosti, jenž vždy dohromady tvarem vytváří obdélník nebo čtverec. Hlavním materiálem by mohl být hliník, z důvodu zachování lehkosti, barvený bílou práškovou barvou, pro přivedení více světla do interiéru. Dále pak pevná ocelová lanka, tyče a spoje tvořící konstrukci pro lepší stabilitu celého předělu.



Obrázek 68: Předělová stěna

6.1.4 Svítidlo



Obrázek 69: Tvarová studie svítidla

Interiérové svítidlo je tvořené ze tří kusů navzájem se dotýkajících octahedronů, přičemž zde chybí několik spodních ploch pro možnost průniku světla ze svítidla do interiéru. Jeho tvar je asymetrický, jelikož jsou obě jeho spodní plochy orientovány na jinou stranu. Světla a stíny, jež svítidlo vytváří, jsou převážně mnohoúhelníková v návaznosti na ostré geometrické hrany lustru. Materiálem by měl být hliník z důvodu nízké hmotnosti a odrazivosti nebo se dá uvažovat, obdobně jako u Etch kolekce Toma Dixona, o vzorovaném kovu.



Obrázek 70: Svítidlo

6.2 Architektura

Znovu se zde dostáváme k číslu čtyři, jež je počet architektonických objektů, které jsem navrhla v návaznosti na výzkum chování a adaptace octahedronů. Jejich společným znakem je shodný modul a hlavním rozdílem je použití velikostních měřítek, jež je odlišné pro betonové cihly, kempovací příbytek, vysokopodlažní věž a kinetickou fasádu.

6.2.1 Betonové cihly

Využití betonových cihel jako architektonického prvku pochází z inspirace od Olafura Eliassona či Tonyho Smitha, kteří vytvořili cihly nových unikátních tvarů a tím dali za vznik novým stavebním modulům architektury. Jako stavební materiál jsem zvolila beton, jež je esteticky přívětivější než pálené cihly a kromě tradičního omítnutí cihel se nabízí i varianta odhalených betonových cihel v interiéru či exteriéru, pro vytvoření ojedinělého dojmu z daného prostoru. Mým cílem bylo ověřit si fakt, zda je tvar octahedronových cihel esteticky přitažlivý či nikoliv, a zda jejich tvarové vlastnosti pozitivně či negativně ovlivňují výstavbu prostoru. Pevně stanovený prostor se osmistěnovými cihlami vyplňuje hůře a je zapotřebí důkladných znalostí octahedronových kompozic, na druhou stranu jsou octahedronové cihly kompozičně adaptivnější než cihly klasické.



Obrázek 71: Betonové cihly

6.2.2 Kempovací příbytek

Kempování trochu jinak než ve stanu přináší návrh kempovacího příbytku, jehož idea vznikla za použití tří rozdílných měřítek. Celý objekt se skládá ze čtyř osmistěnů, přičemž hlavní modul tvoří největší octahedron, jenž je obklopen polovičním a čtvrtéčným modulem a celá stavba vytváří prvky tvořící téměř fraktálovou strukturu. Každá velikost modulu slouží k jinému využití. Modul velkého měřítka je vyhrazený pro přespávání. Uvnitř modulu se nachází čtvrtéčný octahedron, který slouží k odkládání důležitých věcí a střední a malý modul vedle hlavního prostoru je určen k odložení méně cenných věcí, jako například vybavení na táboření, rozdělávání ohně a vaření. Materiálem je beton vyztužený železnou konstrukcí, díky němuž mohou návštěvníci příbytku vylézt i na jeho střechu a vychutnat si pohled z výšky. Pod moduly je umístěna podesta s vrstvou izolace a hydroizolace pro zvýšení životnosti kempovacího prostoru. Ve vylepšené verzi příbytku by na střeše mohl být umístěn solární panel a uvnitř modulu světlo a zásuvka, jež by fungovaly alespoň sporadicky v závislosti na slunečním svitu a došlo by tak ke zvýšení komfortu výletníků. V České republice funguje několik serverů na vyhledávání přístřešků k přespání pro oddané výletníky. Pomocí přehledné mapy si můžete vyhledat fotografii místa, podívat se na jeho hodnocení, vzít si spací pytel a vyrazit kempovat.



Obrázek 72: Kempovací příbytek

6.2.3 Věž



Obrázek 73: Schéma modulů věže

Podobně jako kempovací příbytek, věž tvoří moduly tří různých velikostních měřítek, přičemž v největším modulu nalezneme čtyři podlaží, ve středním modulu dvě patra a poslední modul je podlažím sám o sobě. Střední a malé moduly jsou umístěny v interiéru i exteriéru a největší moduly tvoří kostru celé věže. Moduly jsou navzájem průchozí, ve vertikálních směrech se mezi nimi nacházejí clony organického tvaru a v horizontálním směru jsou moduly často spojeny venkovními terasami. Věž by měla plnit hned několik funkcí, v dolních podlažích se může nacházet například divadlo, galerie, kavárna či restaurace. Ve vyšších podlažích se nachází kanceláře a privátní bytové jednotky. Součástí věže jsou zelené stěny a zelené terasy, na kterých je možnost vysadit zeleň.



Obrázek 74: Vysokopodlažní věž

6.2.4 Kinetická fasáda

Fasáda tvořena pravidelně uspořádanými octahedrony s průhledem tak, aby dovnitř mohlo proudit sluneční světlo, by měla své komponenty umět rotovat dle jejich individuální osy. Všechny komponenty by se měly otáčet za sluncem. Hlavní funkcí modulů by tedy měla být regulace teploty uvnitř budovy. V zimních obdobích by moduly měly ke slunci nastavovat své průhledné části, aby z něj čerpali co nejvíce tepla a světla a v letním období by octahedrony naopak nastavovaly ke slunci své plné části pro vytvoření stínu a chladu uvnitř budovy. K tomuto naprogramování jsem využila funkce atraktoru v Grasshopperu, jež je zmíněna v části Metodika. Další ideou je otáčení modulů dle náhodných návštěvníků budovy, či otáčení pravidelné. Kromě mobility modulů, regulace teploty pomocí tvoření stínů a propouštění slunce do interiéru, je dalším hlediskem stránka estetická, která by měla ozvláštnit povrch každé budovy. Co se týče materiálu, zvolila bych pevné, látkové moduly ze strukturované tahové tkaniny, kvůli nízké hmotnosti a celkově elegantnímu vzhledu.

Dalším rozvinutím návrhu kinetické fasády je umístění komponentů na plášť budovy ve společném projektu s Andreou Řečinskou a to na stanici Hyperloopu vedle Hlavního nádraží v Praze.



Obrázek 75: Kinetická fasáda

6.3 Umění

Poslední zastoupení je z oblasti umění, pro které jsem navrhla čtyři umělecké prvky pro interiér i exteriér. Nejvíce objektů tvoří generované agregace octahedronů, jejichž základy jsem objevila během tvarového výzkumu. V následující části se představí pohyblivý obraz, průhled mezi dvěma místnostmi a interiérová a exteriérová skulptura.

6.3.1 Pohyblivý obraz

Proces růstu agregace octahedronů dvou měřítek vzájemně se dotýkajících body v jednom rámu a svisle zrcadlená agregace v druhém rámu dohromady tvoří kompozici připomínající růst větví stromu. Jelikož jsme se z 3D agregace modulů převedením do videa dostali do 2D geometrických sítí, animace má po estetické stránce hodně společného s obrazy z období konstruktivismu, zabývající se výzkumem základních geometrických tvarů. Ve 2D prostoru vznikl postupně rostoucí geometrický patern, tvoření nepravidelnými trojúhelníky.

Video agregace octahedronů může sloužit jako umělecký doplněk do interiérů, pomocí nové technologie od Samsung, jež vytváří videorámečky s upraveným povrchem imitující povrch klasického obrazu, na které lze nastavit libovolná umělecká videa.



Obrázek 76: Pohyblivý obraz

6.3.2 Průhled

Problém nastávající v prostorách, které chceme navzájem propojit, ale dělí je například sádrokartonová příčka, řeší interiérový průhled. Hlavním cílem zde je zprostředkovat propojení dvou naprosto odlišných místností. Vezmeme-li v potaz spojení prostoru obývacího s průchozí chodbou, podobně jako ve vizualizaci, průhled by měl vytvořit jemné propojení těchto dvou místností, ve kterých se lidé se navzájem neomezují, ale přitom mají přehled o tom, co se kde děje. Estetické hledisko průhledu se stává zajímavé při pozorování střetu octahedronu se stěnou z různých uhlů a nebo sledování průsvitů světla, které průhledem proudí skrz prostorem do další místnosti. Materiálem průhledu by mohl být plech barvený černou a zlatou práškovou barvou. Vně modulu jsem zvolila černou barvu a zevnitř zlatou, aby zlatá barva průhled rozsvítila a také sváděla k pohledu dovnitř objektu, kterým zároveň prohlédneme do další místnosti. Průhled by měl sloužit jako extravagantní a neobvyklý estetický prvek do domácností. Dalším možným využitím průhledu je jeho implementace skrze stěny například do kaváren, restaurací, divadel, veřejných budov či firemních kójí na veletrzích či jiných událost, jelikož se průhled stává zajímavým prvkem, jenž by mohl zaujmout potencionální kolemjdoucí zákazníky či spolupracovníky.



Obrázek 77: Interiérový průhled

6.3.3 Interiérová skulptura



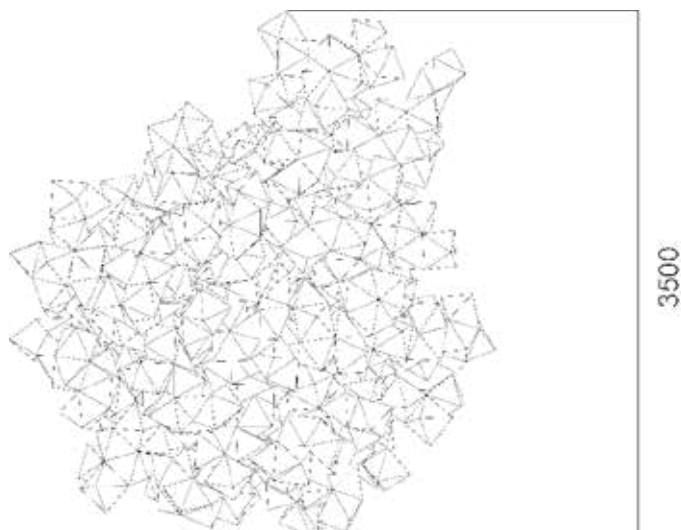
Obrázek 78: Kompozice z octahedronů spojená plochami

Socha umístěna v interiéru je odvozena z agregace octahedronů pomocí ploch vytvořených v jednom měřítku. Skulptura je navržena na míru a přizpůsobena pokoji s velkým proskleným oknem. Lze tedy předpokládat, že pro jiný typ interiéru by bylo zapotřebí navrhnout principiálně stejnou, ale tvarově odlišnou sochu, vytvářející podobně dynamickou kompozici, jejíž složení vytvoří nevšední solitér do vnitřních prostor. Hlavní využití skulptury není v žádném ohledu praktické, ale čistě estetické.



Obrázek 79: Interiérová skulptura

6.3.4 Socha ve veřejném prostoru



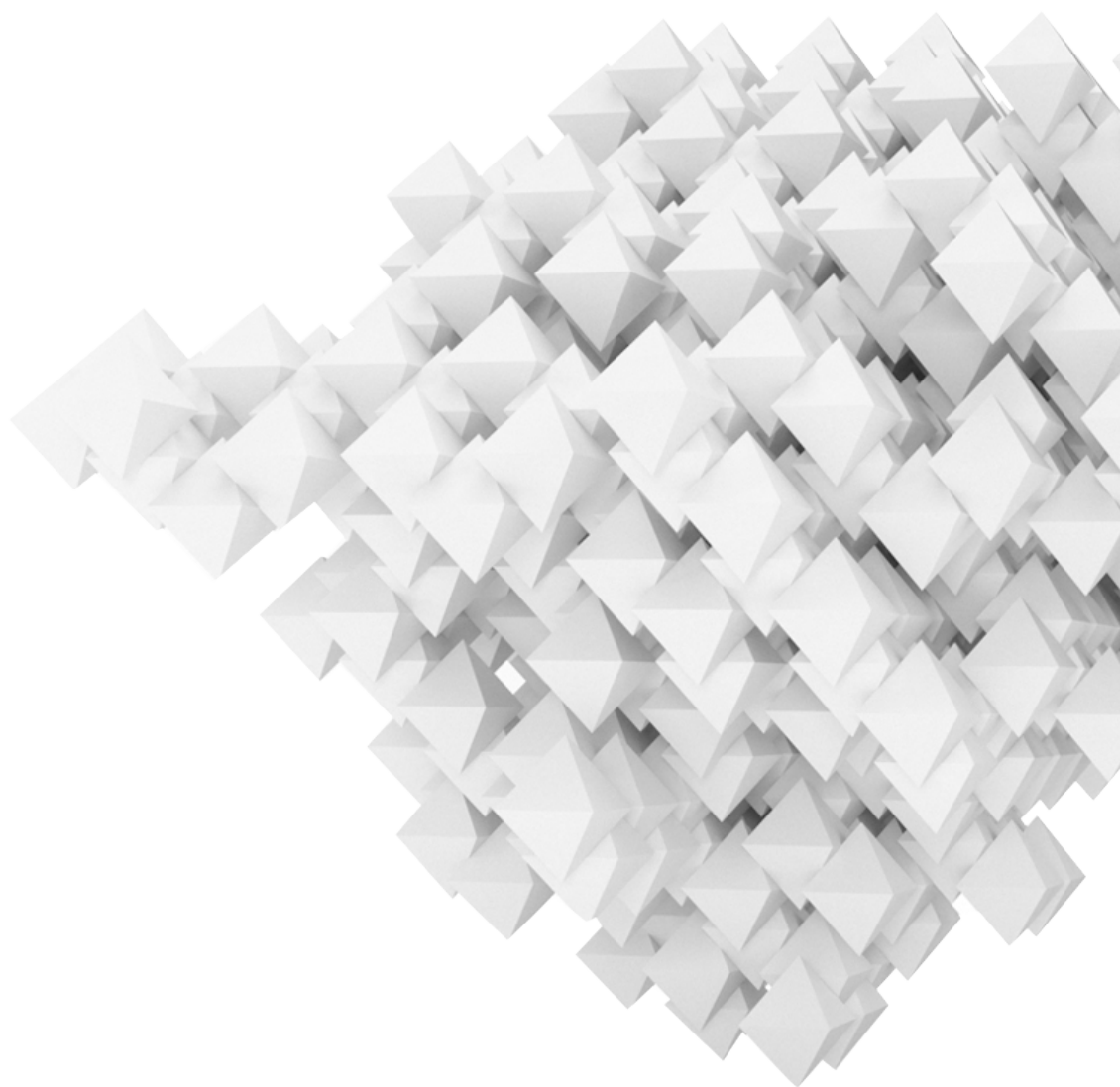
Obrázek 80: Socha ve veřejném prostoru

Veřejný prostor, potažmo park, jež můžeme vidět na vizualizaci, se zdá být ideálním místem pro umístění exteriérové skulptury. Socha je vygenerována pomocí agregace octahedronu dotýkající se plochami. Dle nákresu lze vidět její odhadovanou výšku, která se může při potřebě jiného měřítka lišit. Bílou barvu jsem zvolila, kvůli pocitu svobody při pohledu na ni. Chaoticky rozmístěná ramena a její rozevlátost jako by ukazovala, jak se socha nechá unášet volností.



Obrázek 81: Socha ve veřejném prostoru

PROTOTYPY



7 Prototypy

7.1 Výběr materiálu

Vhodným materiálem pro vytváření prototypů je dle mého názoru karton, už kvůli finanční stránce věci, jež nás neomezuje udělat nespočet kusů komponentů. Hlavní nevýhodou papíru ale zůstává nízká pevnost materiálu, jež může způsobit problémy se statikou a s celkovou pevností konstrukce. Proto jsem se v dalším kroku rozhodla vytvořit prototyp z ocelového plechu, jež bylo nutno dále svařit a zabrousit. Prototyp se osvědčil, hlavně svou pevností a stabilitou. Níže je má cesta, jež jsem absolvovala během prototypování.

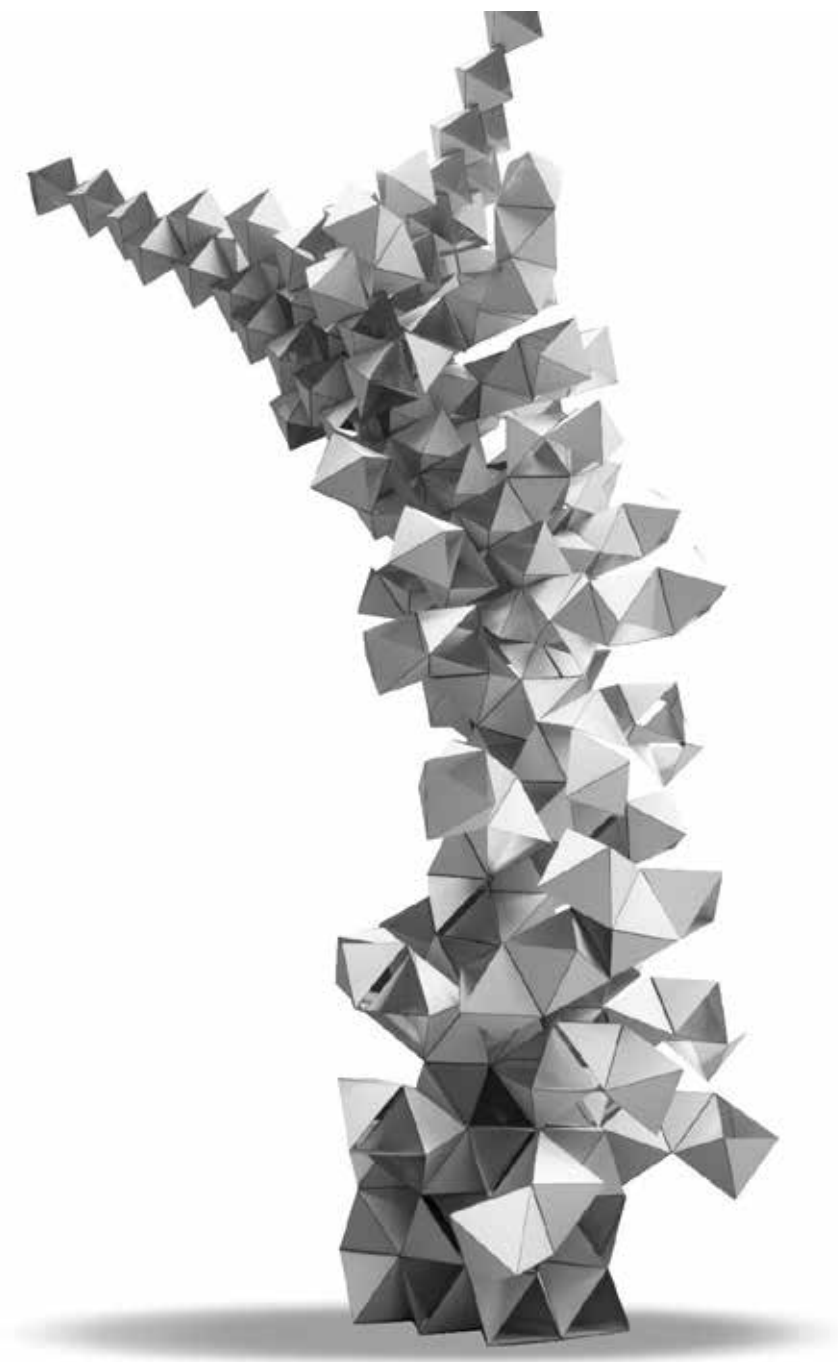
7.2 Papírové prototypy



Obrázek 82: Papírový model

Papírový sloup jsem vyrobila z kartonu malé tloušťky, čehož jsem později velmi litovala, hlavně při ztrátě stability. Na rozdíl od modelování v počítači jsem ale poznala příjemnou cestu skládání velkých komponent vedle sebe, jež tvořily kompozice vypadající jinak než kompozice tvořené v počítači nebo kompozice z malých modelů.

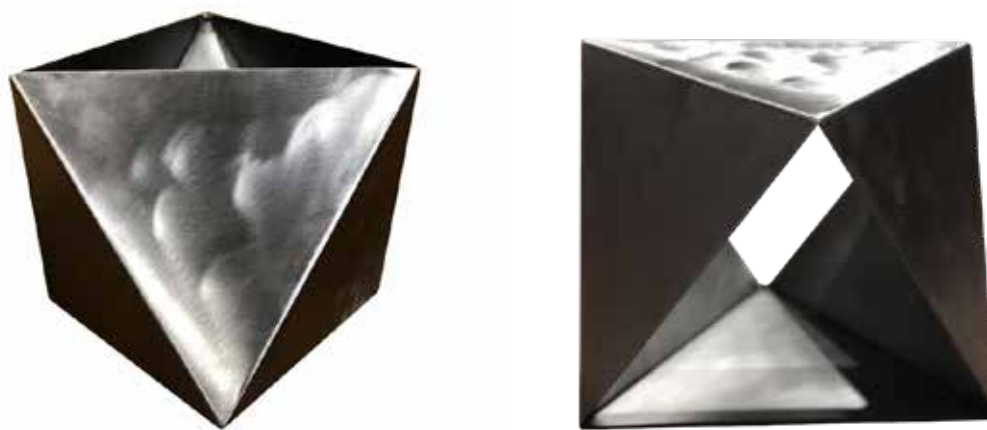
Mým druhým několikametrovým modelem se stala skulptura z pevného kartonu, z něhož se mi podařilo sestavit pětimetrovou sochu v ateliéru. Hlavní část agregace byla tvořena pomocí styku ploch a později styku částí ploch z důvodu potřeby vytvoření klenby. Na rozdíl od předchozího papírového prototypu byl nově vzniklý shluk mnohem pevnější. Použito bylo kolem 250 modulů octahedronů.



Obrázek 83: Papírový model

7.3 Plechové prototypy

Vytvořením plechového prototypu jsem si ověřila funkčnost octahedronu jako prvku do interiéru. Překvapila mě jeho pevnost a stabilita. Ke zvolení ocelového plechu jako materiálu mě inspiroval materiál sedacích modulů, o kterých jsem psala v sekci návrhy a použití. Mým cílem bylo si vyzkoušet, zda je vůbec možné se na tento modul posadit, bez řešení problému stability a pevnosti, což jsem si ověřila a plechový modul jsem uznala jako dosud nejlepší materiálové řešení.



Obrázek 84: Plechové prototypy

8 Závěr

Účelem bakalářské práce bylo ovládnout principy modularity, jejich agregace a estetizace a na základě získaných znalostí navrhnout využití osmistěnů v praxi. Začátek výzkumu jsem věnovala polyhedronům, konkrétně octahedronu, který nejvíce splňoval mé požadavky pro ideální modul. Velkou částí studie se stalo tvoření kompozic vzniklých z tohoto modulu a modelování pomocí Rhinoceros a Grasshopperu, jež mi pomohly dále rozvinout své technické dovednosti a rozšířily mé bádání o parametrické modelování. V poslední části jsem se zabývala aplikací těchto modulů do designu, architektury a umění, přičemž jsem u každého odvětví vytvořila čtyři objekty, jež jsem zasadila do samostatných kontextů.

Největší společnou myšlenkou výzkumu byla modularita, agregace, teselace a aplikace rozdílných velikostních měřítek octahedronů ve třech odlišných oborech. Přes výzkum velikostních měřítek, vytvořené výkresy, modely a vizualizace, jsem došla k závěru, že nejlepší aplikací reálného využití osmistěnů je utilizace v oblasti designu. Velikosti modulů v oblasti designu shledávám jako nejlepší, především kvůli vztahu výšky modulu k výšce člověka. Z uživatelského hlediska upřednostňuji velikost octahedronů, jež můžu přenést z místa na místo, můžu se na ně posadit či je poskládat na sebe. Je zde ale určitá možnost, že mě ovlivňuje mé podvědomí, protože k designu mám ze tří zmíněných oborů nejbližší.

Ve většině návrhů jsem dosáhla bodu, jehož jsem dosáhnout chtěla. Nicméně určitě jsou zde objekty hlavně z oblasti architektury, které by mohly být komplexněji zpracované, jelikož každý z jednotlivých dvanácti objektů, jež jsem navrhla, by mohl být tématem pro samostatnou bakalářskou práci. Budoucí vývoj mého výzkumu o parametrizaci a modularitě by mohl být obohacený o ještě širší spektrum kompozic a programovaných agregací, detailněji rozpracované možnosti použití a rozpohybování modulů pomocí principu locomotion, jež má veliký potenciál využití v budoucím stavitelství a architektuře, hlavně vezmeme-li v potaz možnost seberůstu a samostatné adaptace na prostředí. Jsem zvědavá na to, co mi budoucí bádání přinese a na to, čeho všeho jsou octahedrony ještě schopné. Nese si to s sebou velkou spoustu znalostí, jež si budu muset ještě osvojit, ale na další výzkum se velice těším.

Seznam obrazových příloh

<u>Obrázek 1: Virus HIV ve tvaru icosahedronu</u>	15
<u>Obrázek 2: Leonardo da Vinci a použití icosahedronu</u>	16
<u>Obrázek 3: Salvador Dalí a použití dodecahedronu</u>	16
<u>Obrázek 4: Polyhedron v umění 21. století</u>	16
<u>Obrázek 5: Tetrahedron, Hexahedron, Octahedron, Dodecahedron a Icosahedron</u>	19
<u>Obrázek 6: Octahedron</u>	20
<u>Obrázek 7: Octahedronová síť</u>	20
<u>Obrázek 8: Kwang Young Chun, Agregace</u>	21
<u>Obrázek 9: Andy Lomas, Agregace</u>	21
<u>Obrázek 10: M. C. Escher, Černobílá teselace</u>	22
<u>Obrázek 11: M. C. Escher, Červenobílá teselace</u>	22
<u>Obrázek 12: Fraktály</u>	23
<u>Obrázek 13: Desmond Paul Henry, 1962</u>	24
<u>Obrázek 14: Synergia, AA DRL prototyping</u>	25
<u>Obrázek 15: Delta, AA DRL prototyping</u>	25
<u>Obrázek 16: Erwin Hauer, fasáda vídeňského kostela a Erwin Hauer, hra světla a stínů v interiéru</u>	26
<u>Obrázek 17: Ad Reinhardt a Tony Smith: A Dialogue</u>	27
<u>Obrázek 18: Knihovna na taiwanské škole</u>	29
<u>Obrázek 19: Sedací souprava z kolekce Stop playing with yourself</u>	30
<u>Obrázek 20: Divisorio od Bas van Leeuwen a Mireille Meijs</u>	31
<u>Obrázek 21: Tom Dixon, Etch Pendant</u>	32
<u>Obrázek 22: Olafur Eliasson- Concrete 'Quasi-Bricks'</u>	32
<u>Obrázek 23: Tony Smith – Bat Cave</u>	32
<u>Obrázek 24: The floating dome, Amsterdam</u>	33
<u>Obrázek 25: Art Tower in Mito, Arata Isozaki</u>	34
<u>Obrázek 26: Hazza Bin Zayed Stadium, Pattern Architects</u>	35
<u>Obrázek 27: László Moholy-Nagy - Construction</u>	36
<u>Obrázek 28: Pavilonu pro Sabena Technics na výstavě Ebace Genève</u>	36
<u>Obrázek 29: H.O.R.T.U.S. XL Astaxanthin.q by ecoLogicStudio</u>	37
<u>Obrázek 30: Tony Smith - Bat Cave</u>	38
<u>Obrázek 31: Rhinopolyedra plug-in</u>	40
<u>Obrázek 32: Kompozice v Rhinoceros</u>	41
<u>Obrázek 33: Studie kompozice dotýkající se plochami</u>	41
<u>Obrázek 34: Grasshopper soubor určený pro agregaci tělesa v jednom měřítku</u>	42
<u>Obrázek 35: Grasshopper, agregace dotýkající se plochami</u>	43
<u>Obrázek 36: Studie agregace dotýkající se plochami</u>	43
<u>Obrázek 37: Grasshopper soubor určený pro agregaci tělesa ve více měřítkách</u>	44
<u>Obrázek 38: Grasshopper, agregace dotýkající se hranami</u>	44
<u>Obrázek 39: Studie agregace dotýkající se hranami</u>	45
<u>Obrázek 40: Grasshopper soubor zobrazující umístění těles na plochu</u>	45
<u>Obrázek 41: Grasshopper, komponenty umístěné na tvar koule</u>	46
<u>Obrázek 42: Studie umístění komponentů na fasádu</u>	46
<u>Obrázek 43: Studie umístění komponentů na fasádu</u>	47
<u>Obrázek 44: Studie umístění komponentů na fasádu</u>	47

<u>Obrázek 45: Octahedron</u>	49
<u>Obrázek 46: Tetrahedron</u>	49
<u>Obrázek 47: Upravený octahedron pro větší prostupnost světla</u>	50
<u>Obrázek 48: Kompozice tvarů spojených hranami</u>	50
<u>Obrázek 49: Kompozice tvarů spojených částmi ploch</u>	51
<u>Obrázek 50: Kompozice tvarů spojených celými plochami</u>	51
<u>Obrázek 51: Kompozice tvarů spojených body, hranami, částmi ploch a celými plochami</u>	52
<u>Obrázek 52: Agregace dotýkající se v bodech</u>	53
<u>Obrázek 53: Agregace dotýkající se hranami</u>	53
<u>Obrázek 54: Agregace dotýkající se částmi ploch</u>	54
<u>Obrázek 55: Agregace dotýkající se plochami</u>	54
<u>Obrázek 56: Agregace ve dvou měřítcích dotýkající se body, hranami, částmi ploch a celými plochami</u>	55
<u>Obrázek 57: Agregace ve dvou měřítcích dotýkající se body</u>	56
<u>Obrázek 58: Agregace ve dvou měřítcích dotýkající se plochami</u>	56
<u>Obrázek 59: Agregace ve dvou měřítcích dotýkající se hranami</u>	57
<u>Obrázek 60: Agregace ve třech měřítcích dotýkající se plochami</u>	57
<u>Obrázek 61: Octahedron</u>	59
<u>Obrázek 62: Octahedron s průhledem</u>	59
<u>Obrázek 63: Multifunkční stěna</u>	60
<u>Obrázek 64: Octahedron s průhledem</u>	60
<u>Obrázek 65: Tetrahedron</u>	60
<u>Obrázek 66: Sedací moduly</u>	61
<u>Obrázek 67: Směr otáčení komponentů</u>	62
<u>Obrázek 68: Předělová stěna</u>	62
<u>Obrázek 69: Tvarová studie svítidla</u>	63
<u>Obrázek 70: Svítidlo</u>	63
<u>Obrázek 71: Betonové cihly</u>	64
<u>Obrázek 72: Kempovací příbytek</u>	65
<u>Obrázek 73: Schéma modulů věže</u>	66
<u>Obrázek 74: Vysokopodlažní věž</u>	66
<u>Obrázek 75: Kinetická fasáda</u>	67
<u>Obrázek 76: Pohyblivý obraz</u>	68
<u>Obrázek 77: Interiérový průhled</u>	69
<u>Obrázek 78: Kompozice z octahedronů spojená plochami</u>	70
<u>Obrázek 79: Interiérová socha</u>	70
<u>Obrázek 80: Socha ve veřejném prostoru</u>	71
<u>Obrázek 81: Socha ve veřejném prostoru</u>	71
<u>Obrázek 82: Papírový model</u>	73
<u>Obrázek 83: Papírový model</u>	74
<u>Obrázek 84: Plechové prototypy</u>	75

Seznam obrazových zdrojů

Obrázek 1: Virus ve tvaru pravidelného dvacetistěhu neboli Icosahedronu

DR. A. *testmestd* [online]. [cit. 10.12.2015]. Dostupný na WWW: <http://www.testmestd.com/HIV-Testing.php>

Obrázek 2: Salvador Dalí a použití Dedecahedronu

PLATONICS. *kickstarter* [online]. [cit. 1.3.2016]. Dostupný na WWW: <https://www.kickstarter.com/projects/336201513/platonics-polyhedrons-cast-in-solid-brass-and-bron>

Obrázek 3: Leonardo da Vinci a použití Icosahedronu

PLATONICS. *kickstarter* [online]. [cit. 1.3.2016]. Dostupný na WWW: <https://www.kickstarter.com/projects/336201513/platonics-polyhedrons-cast-in-solid-brass-and-bron>

Obrázek 4: Polyhedron v umění 21. století

FINN, Maddie Finn. *thehoya* [online]. [cit. 3.4.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.thehoya.com/no-spectators-art-burning-man-brings-glimpse-desert-dc/>

Obrázek 5: Tetrahedron, Hexahedron, Octahedron, Dodecahedron a Icosahedron

PLATONICS. *kickstarter* [online]. [cit. 1.3.2016]. Dostupný na WWW: <https://www.kickstarter.com/projects/336201513/platonics-polyhedrons-cast-in-solid-brass-and-bron>

Obrázek 6: Octahedron

BOSTER, Mark. *study* [online]. [cit. 5.5.2019]. Dostupný na WWW: <https://study.com/academy/lesson/surface-area-volume-of-an-octahedron.html>

Obrázek 7: Octahedronová síť

ADAMS. *commons.wikimedia* [online]. [cit. 24.10.2013]. Dostupný na WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Geometric_Net_of_a_Regular_Octahedron.svg

Obrázek 8: Kwang Young Chun, Agregace

Chun, Kwang Young Chun. *Kwang Young Chun: Aggregations* [online]. [cit. 16.11.2018]. Dostupný na WWW: https://www.brooklynmuseum.org/exhibitions/kwang_young_chun

Obrázek 9: Andy Lomas, Agregace

LOMAS, Andy Lomas. *andylomas* [online]. [b.r.]. Dostupný na WWW: <http://www.andylomas.com/cellularForms.html>

Obrázek 10: M. C. Escher, Černobílá eselace

THEFLORALFLAMINGO. *laurenstephanie* [online]. [cit. 15.3.2015]. Dostupný na WWW: <https://laurenstephanie.wordpress.com/2015/03/15/m-c-escher/#jp-carousel-2021>

Obrázek 11: M. C. Escher, Červenobílá teselace

KWINKLBAUER. *pinterest* [online]. [b.r.]. Dostupný na WWW: <https://cz.pinterest.com/pin/598697344183172654/?lp=true>

Obrázek 12: Fraktály

MARIO. *fractalworldmcer* [online]. [cit. 12.10.2016]. Dostupný na WWW: <http://fractalworldmcer.blogspot.com/2016/10/normal-0-false-false-false-en-us-x-none.html>

Obrázek 13: Desmond Paul Henry, 1962

HENRY. *desmondhenry* [online]. [b.r.]. Dostupný na WWW: <http://www.desmondhenry.com/gallery/>

Obrázek 14: Synergia, AA DRL prototyping

AA. *pr2016.aaschool* [online]. [cit. 2016]. Dostupný na WWW: <http://pr2016.aaschool.ac.uk/Synergia>

Obrázek 15: Delta, AA DRL prototyping

PAN, Pam Pan. *cmuems* [online]. [cit. 12.9.2017]. Dostupný na WWW: <http://cmuems.com/2017/60210c/ypuep/09/12/aadrl-behavioural-complexity-mobile-self-aware-and-self-assemble/>

Obrázek 16: Erwin Hauer, fasáda vídeňského kostela a Erwin Hauer, hra světla a stínů v interiéru

WADDOUPS, Ryan Waddoups. *interiordesign* [online]. [cit. 25.1.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.interiordesign.net/articles/14382-erwin-hauer-celebrated-sculptor-of-architectural-screens-dies-at-91/>

Obrázek 17: Ad Reinhardt a Tony Smith: A Dialogue

ALL ART WORKS. *tonysmithestate* [online]. [cit. 2018]. Dostupný na WWW: <http://www.tonysmithestate.com/exhibitions/ad-reinhardt-and-tony-smith-a-dialogue>

Obrázek 18: Knihovna na taiwanské škole

ARCHDAILY. *archdaily* [online]. [cit. 20.7.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.archdaily.com/896683/lishin-elementary-school-library-tali-design>

Obrázek 19: Sedací souprava z kolekce Stop playing with yourself

SIEGEL, Laurie Siegel. *apartmenttherapy* [online]. [cit. 23.1.2012]. Dostupný na WWW: <https://www.apartmenttherapy.com/schamburg-alvisses-concept-piece-design-by-any-other-name-164636>

Obrázek 20: Divisorio od Bas van Leeuwen a Mireille Meijs

BLOOMMING. archiproducts [online]. [cit. 2.4.2019]. Dostupný na WWW:
https://www.archiproducts.com/it/prodotti/blooming/divisorio-sospeso-hanging-room-divider-facet-204x230_365841

Obrázek 21: Tom Dixon, Etch pendant

DIXON, Tom. *heals* [online]. [cit. 2019]. Dostupný na WWW: <https://www.heals.com/etch-pendant.html>

Obrázek 22: Olafur Eliasson- Concrete 'Quasi-Bricks'

HMGN, Nicolas. *pinterest* [online]. [b.r.]. Dostupný na WWW:
<https://cz.pinterest.com/pin/365495326004160579/?lp=true>

Obrázek 23: Tony Smith – Bat Cave

SMITH, Tony Smith. *tonysmithestate* [online]. [b.r.]. Dostupný na WWW:
<http://www.tonysmithestate.com/artworks/sculpture/bat-cave-1969-71/8>

Obrázek 24: The floating dome, campsite in Amsterdam

BRUZZONE, Andrés. *terra* [online]. [cit. 15.11.2013]. Dostupný na WWW: <https://www.terra.com.br/vida-e-estilo/turismo/internacional/de-cabana-em-arvore-a-iglu-site-lista-acampamentos-curiosos,649f0ec7cab52410VgnVCM10000098cceb0aRCRD.html>

Obrázek 25: Art Tower in Mito, : Arata Isozaki

MAFI, Nick. *architecturaldigest* [online]. [cit. 5.3.2019]. Dostupný na WWW:
<https://www.architecturaldigest.com/story/2019-pritzker-prize-arata-isozaki>

Obrázek 26: Hazza Bin Zayed Stadium, Pattern Architect

GILBERT, Dennis. *archilovers* [online]. [cit. 5.14.2015]. Dostupný na WWW:
<https://www.archilovers.com/projects/156284/hazza-bin-zayed-stadium.html>

Obrázek 27: László Moholy-Nagy - Construction

NAGY, László Moholy-Nagy. *posterlounge* [online]. [b.r.]. Dostupný na WWW:
<https://www.posterlounge.es/construccion-pr651127.html#paid=19200>

Obrázek 28: Pavilonu pro Sabena Technics na výstavě Ebace Genève

DECOR, Nem Art. *nemartdecor* [online]. [cit. 19.11.2018]. Dostupný na WWW:
https://nemartdecor.blog.hu/2018/11/19/stilusok_a_furdoben_oda_a_csempéhez

Obrázek 29: H.O.R.T.U.S. XL Astaxanthin.g by ecoLogicStudio

SAY, Asli Say. *parametric-architecture* [online]. [cit. 14.3.2019]. Dostupný na WWW: <https://parametric-architecture.com/h-o-r-t-u-s-xl-astaxanthin-g-by-ecologicstudio/>

Obrázek 30: Tony Smith – Octopian

SMITH, Tony Smith. *Theoctopian* [online]. [2018]. Dostupný na WWW: <https://www.theoctopian.com/tony-smith-bat-cave-expo-70/>

Seznam citovaných zdrojů

- 1/ HART, George W. Leonardo da Vinci's Polyhedra. *Georgehart* [online]. [cit. 1999]. Dostupné z: <https://www.georgehart.com/virtual-polyhedra/leonardo.html>
- 2/ Platónské těleso. *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Plat%C3%B3nsk%C3%A9_t%C4%Bleso
- 3/ GOLDCHAIN, Michelle. Beyond the Renwick: Six public art installations enliven Downtown D.C. *Curbed* [online]. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://dc.curbed.com/2018/4/5/17201864/burning-man-renwick-gallery-art>
- 4/Mnohostěn. *Wikipedia* [online]. [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mnohost%C4%Bn>
- 5/ Eulerova věta. *Wikipedia* [online]. [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mnohost%C4%Bn>
- 6/ WEISSTEIN, Eric W. Polyhedron. *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Polyhedron>
- 7/ HEILBRON, J.L. Platonic solids. *Britannica* [online]. [cit. 2019]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/Platonic-solid>
- 8/ KNETLOVÁ, Anna. *PRAVIDELNÉ MNOHOSTĚNY* [online]. Plzeň, 2016 [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/24495/1/BP_Knetlova.pdf. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI. Vedoucí práce RNDr. Václav Kohout.
- 9/ BRKOS Team. *Mnohostěny* [online]. Brno, 2010 [cit. 2010-02-05]. Dostupné z: <http://brkos.math.muni.cz/files/download/mnohosteny.pdf>. Presentace.
- 10/ Mnohostěn. *Wikipedia* [online]. [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mnohost%C4%Bn>
- 11/ JOC. Symmetry groups of Platonic solids. *History.mcs* [online]. [cit. 2013-03-09]. Dostupné z: <http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/~john/geometry/Lectures/L10.html>
- 12/ Aggregation. *Vocabulary* [online]. Vocabulary.com, 2019 [cit. 2019-03]. Dostupné z: <https://www.vocabulary.com/dictionary/aggregation>
- 13/ Kwang Young Chun: Aggregations. *Brooklynmuseum* [online]. 2018 [cit. 2018-11-16]. Dostupné z: https://www.brooklynmuseum.org/exhibitions/kwang_young_chun
- 14/ About. *AndyLomas* [online]. [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <http://www.andylomas.com/about.html>

15/ Tessellation. *Study* [online]. [b.r.]. Dostupné z: <https://study.com/academy/lesson/what-is-a-tessellation.html>

16/ ALLEN, Lindsay. Tessellations and Escher. *Jwilson* [online]. [b.r.]. Dostupné z: <http://jwilson.coe.uga.edu/EMT668/EMAT6680.2002.Fall/AllenL/MATH%207200/Escher%20Project/Tessellations&Escher/Tessellations&Escher.html>

17/ M. C. Escher. *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/M._C._Escher

18/ 1. Fraktály kolem nás. *Root* [online]. [cit. 2007-05-22]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/fraktaly-kolem-nas/>

19/ Fraktální dimenze. *Is.mendelu* [online]. [b.r.]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=5824

20/ MITCHELL, Kerry. Kerry Mitchell. *Gallery.bridgesmathart* [online]. Phoenix, Arizona USA [cit. 2014]. Dostupné z: <http://gallery.bridgesmathart.org/exhibitions/2015-bridges-conference/lkmitch>

21/ Robot Locomotion. *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Robot_locomotion

22/ PAN, Pam. AADRL – BEHAVIOURAL COMPLEXITY; MOBILE, SELF-AWARE AND SELF-ASSEMBLE. *Cmu-ems* [online]. [cit. 2017-09-12]. Dostupné z: <http://cmuems.com/2017/60210c/ypuep/09/12/aadrl-behavioural-complexity-mobile-self-aware-and-self-assemble>

23/ CALLEBAUT, Werner. *Modularity: Understanding the Development and Evolution of Natural Complex Systems*. 21.8. 2009. The MIT Press, 2009. ISBN ISBN-13: 978-0262513265.

24/ WADDOUNS, Ryan. Erwin Hauer, Celebrated Sculptor of Architectural Screens, Dies at 91. *Interiordesign* [online]. [cit. 2018-01-25]. Dostupné z: <https://www.interiordesign.net/articles/14382-erwin-hauer-celebrated-sculptor-of-architectural-screens-dies-at-91/>

25/ *Erwin Hauer: Continua-Architectural Screen and Walls*. 2004. New York: Princeton Architectural Press, 2004. ISBN 9781568987279.

26/ DIE, 1962. *Tonysmithestate* [online]. [b.r.]. Dostupné z: <http://www.tonysmithestate.com/works/sculpture/die-1962>

27/ PETERS, Charley. Tony Smith: Sculpture and Painting. *Abstractcritical* [online]. [cit. 2014-09-22]. Dostupné z: <https://abstractcritical.com/article/tony-smith-sculpture-and-painting/index.html>

28/ Modular art. *Wikipedia* [online]. [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Modular_art

29/ SIEGEL, Laurie. Schamburg + Alvisse's Stop Playing With Yourself Collection. *Www.apartmenttherapy.com* [online]. [cit. 2012-01-23]. Dostupné z: <https://www.apartmenttherapy.com/schamburg-alvisse-concept-piece-design-by-any-other-name-164636>

30/ LOUVET, Sophie. PRESS & REVIEWS. *Www.apartmenttherapy.com* [online]. [cit. 2015-07-07]. Dostupné z: <https://www.blooming.com/it/stampa-recensioni>

31/ OUR STUDIO. *Tomdixon* [online]. [cit. 2019]. Dostupné z: <https://www.tomdixon.net/story/category/our-studio/>

32/ MALM, Sara. A dome from home!. *Www.dailymail.co.uk* [online]. [cit. 2013-07-07]. Dostupné z: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-2357841/A-dome-home-Amsterdam-campsite-offers-holiday-makers-chance-stay-unique-tents-caravans.html>

33/ Japan Museums: Art Tower Mito (ATM). *Www.japanvisitor.com* [online]. [cit. 2019]. Dostupné z: <https://www.japanvisitor.com/japan-museums/art-tower-mito>

34/ Hazza Bin Zayed Stadium / Pattern Design. *Archdaily* [online]. [cit. 2015-03-04]. Dostupné z: <https://www.archdaily.com/604755/hazza-bin-zayed-stadium-pattern-design>, ISSN 0719-8884

35/ AUER, Anna. László Moholy-Nagy. *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1szl%C3%B3_Moholy-Nagy

36/ László Moholy-Nagy. *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1szl%C3%B3_Moholy-Nagy

37/ SAY, Asli. H.O.R.T.U.S. XL ASTAXANTHIN.G BY ECOLOGICSTUDIO. *Parametric-architecture* [online]. [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <https://parametric-architecture.com/h-o-r-t-u-s-xl-astaxanthin-g-by-ecologicstudio/>

38/ Tony Smith. *Artnet* [online]. [cit. 2018]. Dostupné z: <http://www.artnet.com/artists/tony-smith/>